

ВІСНИК
НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО
УНІВЕРСИТЕТУ "ХПІ"

ISSN 2079-5459

Збірка наукових праць

34'2012

Серія "Нові рішення в сучасних технологіях"

Видання засноване Національним технічним університетом «ХПІ» в 2001 году

Держвидання

Свідцтво Держкомітету з інформаційної політики

України КВ №5256 від 02.07.2001 р.

КООРДИНАЦІЙНА РАДА

Голова

Л.Л. ТОВАЖНЯНСЬКИЙ, д-р техн. наук, проф.

Секретар координаційної ради

К.О. ГОРБУНОВ, канд. техн. наук, доц.

Координаційна рада

А.П. Марченко, д-р техн. наук, проф.;
Є.І Сокол, чл.-кор. НАН України, проф.;
Є.Є. Александров, д-р техн. наук, проф.;
А.В. Бойко, д-р техн. наук, проф.;
М.Д. Годлевський, д-р техн. наук, проф.;
А.І. Грабчєнко, д-р техн. наук, проф.;
В.Г. Данько, д-р техн. наук, проф.;
В.Д. Дмитриєнко, д-р техн. наук, проф.;
І.Ф. Домнін, д-р техн. наук, проф.;
В.В. Єпіфанов, канд. техн. наук, проф.;
Ю.І. Зайцев, канд. техн. наук, проф.;
П.О. Качанов, д-р техн. наук, проф.;
В.Б. Клепиков, д-р техн. наук, проф.;
С.І. Кондрашов, д-р техн. наук, проф.;
В.М. Кошельник, д-р техн. наук, проф.;
В.І. Кравченко, д-р техн. наук, проф.;
Г.В. Лісачук, д-р техн. наук, проф.;
В.С. Лупіков, д-р техн. наук, проф.;
О.К. Морачковський, д-р техн. наук, проф.;
В.І. Ніколаєнко, канд. іст. наук, проф.;
В.А. Пуляев, д-р техн. наук, проф.;
В.Б. Самородов, д-р техн. наук, проф.;
Г.М. Сучков, д-р техн. наук, проф.;
Ю.В. Тимофєєв, д-р техн. наук, проф.;
М.А. Ткачук, д-р техн. наук, проф.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Ответственный редактор

Є.І. Сокол, чл.-кор. НАН України, проф.

Відповідальний секретар

Івахненко А.В. ст.викладач,
Коворотний Т.Л., асистент.,

Члени редколегії

Г.І. Львов, д-р техн. наук, проф.;
О.С. Куценко, д-р техн. наук, проф.;
Л.Г. Раскін, д-р техн. наук, проф.;
В.Я. Заруба, д-р техн. наук, проф.;
В.Я. Терзіян, д-р техн. наук, проф.;
М.Д. Узунян, д-р техн. наук, проф.;
Л.Л. Брагіна, д-р техн. наук, проф.;
В.І. Шустіков, д-р техн. наук, проф.;
В.І. Тошинський, д-р техн. наук, проф.;
Р.Д. Ситнік, д-р техн. наук, проф.;
В.Г. Данько, д-р техн. наук, проф.;
В.Б. Клепиков, д-р техн. наук, проф.;
Н.Н. Олександров, д-р техн. наук, проф.;
В.Т. Долбня, д-р техн. наук, проф.;
Б.В. Кліменко, д-р техн. наук, проф.;
П.Г. Перерва, д-р екон. наук, проф.;
М.І. Погорелов, канд. екон. наук, проф.

АДРЕСА РЕДКОЛЕГІЇ

61002, Харків, вул. Фрунзе, 21 НТУ
«ХПІ», РМУС Тел. (057) 707-60-40

Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Збірник наукових праць.
Тематичний випуск: Нові рішення в сучасних технологіях.- Харків: НТУ „ХПІ» -
2012. - №34 - 164с.

В сборнике представлены теоретические и практические результаты научных исследований и разработок, которые выполнены преподавателями высшей школы, аспирантами, научными сотрудниками, специалистами различных организаций и предприятий.

Для научных работников, преподавателей, аспирантов, специалистов

У збірнику представлені теоретичні та практичні результати наукових досліджень та розробок, що виконані викладачами вищої школи, аспірантами, науковими співробітниками, спеціалістами різних організацій та підприємств.

Для наукових співробітників, викладачів, аспірантів, спеціалістів

Друкується за рішенням Вченої ради НТУ „ХПІ", Протокол №7 від 06.07.2012

Національний технічний університет „ХПІ" 2012

УДК 62-752+62-755 : 621.634

Г.Б. ФИЛИМОНИХИН, докт. техн. наук, проф., КНТУ, Кировоград,
В.В. ГОНЧАРОВ, канд. физ.-мат. наук, доц., КНТУ, Кировоград

УСТОЙЧИВОСТЬ ОСНОВНЫХ ДВИЖЕНИЙ СИСТЕМЫ РОТОР – КОРПУС НА ПОДАТЛИВЫХ ОПОРАХ – АВТОБАЛАНСИР: ПОЛУЧЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКОГО УРАВНЕНИЯ

Ставиться задача про дослідження стійкості основних рухів роторної системи за узагальненими координатами ротора і сумарному дисбалансу ротора і автобалансира. Отримано безрозмірні диференціальні рівняння збуреного руху в рухомій системі координат. Записано характеристичне рівняння.

Ключові слова: ротор, дисбаланс, автобалансир, основний рух, стійкість.

Ставится задача об исследовании устойчивости основных движений роторной системы по обобщенным координатам ротора и суммарному дисбалансу ротора и автобалансира. Получены безразмерные дифференциальные уравнения возмущенного движения в подвижной системе координат. Составлено характеристическое уравнение.

Ключевые слова: ротор, дисбаланс, автобалансир, основное движение, устойчивость.

The task of investigating is the stability of the basic movements of the rotor system of generalized coordinates of the rotor and the total imbalance of the rotor and the auto-balancer. The dimensionless differential equations of perturbed motion in the moving coordinate system was obtained. The characteristic equation was composed.

Keywords: rotor, imbalance, autobalancer, main motion, stability.

Вступление

В [1] приведены работы, в которых используются разные подходы при составлении дифференциальных уравнений движения роторных систем с автобалансирами (АБ), и разработан новый метод получения упрощенных дифференциальных уравнений движения таких роторных систем, базирующийся на предположениях о малости линейных и угловых отклонений продольной оси ротора, и о малости массы дисбаланса и корригирующих грузов (КГ) по отношению к массе роторной системы. На базе предложенного метода получена математическая модель системы, состоящей из тяжелого корпуса на вязкоупругих опорах и размещенного в нем статически неуравновешенного ротора с шаровым АБ.

Цель работы – постановка задачи об исследовании устойчивости основных движений системы ротор – корпус на податливых опорах – автобалансир. Устойчивость исследуется по обобщенным координатам ротора и суммарному дисбалансу ротора и автобалансира. На основных движениях они равны нулю.

Для исследования устойчивости получены дифференциальные уравнения возмущенного движения в действительной и комплексной формах. Они приведены к безразмерному виду и записаны в подвижной системе координат. Получено характеристическое уравнение.

1. Описание теоретико-механической модели ротора и АБ

Осесимметричный ротор насажен на жесткий вал, масса которого отнесена к массе ротора. Ротор установлен в массивный корпус с возможностью вращения вокруг вала (рис. 1). Корпус удерживают пять вязкоупругих (предварительно недеформированных) опор. Общая масса ротора m_p , масса корпуса M_k .

Центр масс ротора и массивного корпуса совпадают и находятся в точке O . Составляющая ω скорости вращения ротора вокруг вала является постоянной.

Упругие свойства опор характеризуют коэффициенты жесткости $k_{Lx}, k_{Ly}, k_{Lz}, k_{Rx}, k_{Ry}$, а вязкие – коэффициенты вязкости $b_{Lx}, b_{Ly}, b_{Lz}, b_{Rx}, b_{Ry}$. В плоскости $z = d$ находится статический дисбаланс s , образованный точечной массой m_0 , которая находится на расстоянии r_0 от продольной оси ротора.

Неподвижные оси $Oxyz$ введены для положения статического равновесия системы: ось Oz направлена по продольной оси ротора, оси Ox, Oy направлены параллельно направлениям вязкоупругих опор, перпендикулярных оси вращения, так, что тройка осей $Oxyz$ – правая. Подвижные оси $Ouvw$ жестко связаны с корпусом, а $O\xi\eta\zeta$ – с ротором. В исходном положении роторной системы все три системы осей совпадают (рис. 1).

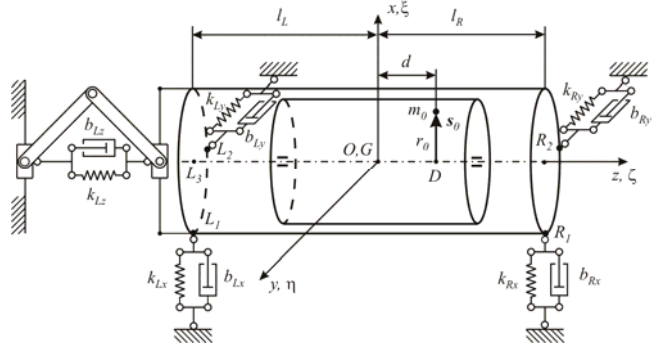


Рис. 1. Ротор в массивном корпусе, установленном на вязкоупругих опорах

Относительно осей $Ouvw$ ротор и корпус имеют тензоры инерции

$$\mathbf{J}_p = \text{Diag}(A_p, A_p, C_p), \quad \mathbf{J}_k = \text{Diag}(A_k, A_k, C_k), \quad (1.1)$$

а радиус-векторы точек приложения опор имеют вид

$$\mathbf{r}_{L_1} = \begin{pmatrix} x_{L_1} \\ 0 \\ z_{L_1} \end{pmatrix}, \quad \mathbf{r}_{L_2} = \begin{pmatrix} 0 \\ y_{L_2} \\ z_{L_2} \end{pmatrix}, \quad \mathbf{r}_{L_3} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ z_{L_3} \end{pmatrix}, \quad \mathbf{r}_{R_1} = \begin{pmatrix} x_{R_1} \\ 0 \\ z_{R_1} \end{pmatrix}, \quad \mathbf{r}_{R_2} = \begin{pmatrix} 0 \\ y_{R_2} \\ z_{R_2} \end{pmatrix}. \quad (1.2)$$

Модель движения ротора с массивным корпусом и дисбалансом приведена на рис. 2. Вначале

происходит поступательное

движение ротора с корпусом вместе с точкой G в положение (x_G, y_G, z_G) , после

которого система

координат $G\xi\eta\zeta$ занимает промежуточное положение $Gx_Gy_Gz_G$ (рис. 2, а). Потом происходят повороты ротора с корпусом вокруг точки G на углы Резаля α и β (рис. 2, б), после чего оси системы $Gx_Gy_Gz_G$ переходят в оси – $Guv\zeta$. Последним происходит поворот ротора вокруг продольной оси ζ на угол ωt (рис. 2, в) и оси

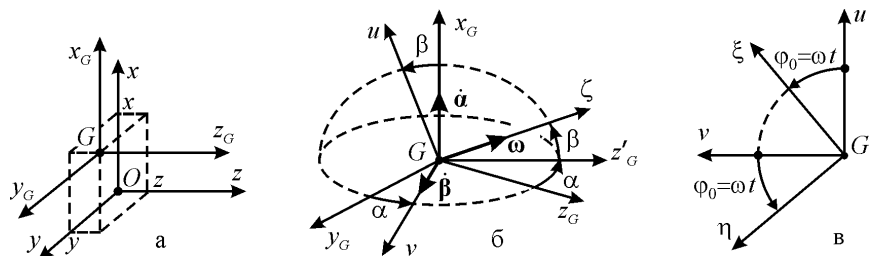


Рис. 2. Кинематика движения ротора и корпуса

системы $Guv\zeta$ переходят в оси – $G\xi\eta\zeta$.

В плоскости $z = d$ находится АБ, состоящий из n одинаковых КГ – маятников, шаров или цилиндрических роликов. В маятниковом АБ (рис. 3, а) на вал насажены n одинаковых маятников каждый массы m и физической длины r . В шаровом или роликовом АБ (рис.3, б) n одинаковых шаров или цилиндрических роликов массы m , катятся без скольжения по кольцевой дорожке, при этом расстояние от оси ротора до центра шара или ролика равно r . Как это принято в теории пассивных АБ предполагается, что радиус шаров или роликов намного меньше радиуса их беговой дорожки и КГ не препятствуют движению друг друга.

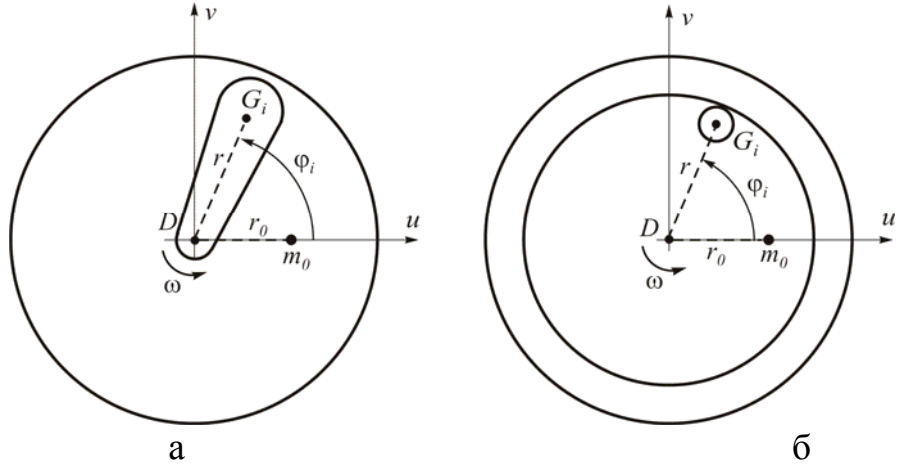


Рис. 3. Кинематика движения i -того КГ в АБ

Действием силы тяжести пренебрегаем.

При повороте i -го маятника вокруг оси на него действует момент сил вязкого сопротивления $br^2(\omega - \dot{\phi}_i)$, где b – коэффициент момента сил вязкого сопротивления (приведенный к плечу r), $\omega - \dot{\phi}_i$ – скорость вращения маятника вокруг вала относительно ротора; точка над величинами обозначает производную по времени. При движении i -того шара или ролика по дорожке на него действует сила вязкого сопротивления $br(\omega - \dot{\phi}_i)$, где b – коэффициент силы вязкого сопротивления, и $r(\omega - \dot{\phi}_i)$ – скорость движения центра шара или ролика относительно ротора.

2. Дифференциальные уравнения, описывающие устойчивость основных движений роторной системы

В работе [1] получена замкнутая относительно неизвестных функций $x = x(t)$, $y = y(t)$, $\alpha = \alpha(t)$, $\beta = \beta(t)$, $s_u = s_u(t)$, $s_v = s_v(t)$ (s_u , s_v – проекции суммарного дисбаланса АБ вместе со статическим дисбалансом на соответствующие оси) система дифференциальных уравнений, которая описывает устойчивость основных движений роторной системы в подвижной системе $Guv\zeta$. В случае изотропных вязкоупругих опор и одинаковых КГ эта система имеет вид

$$\begin{aligned} M\ddot{x} + b_x\dot{x} + k_x x - b_x \frac{k_{y\alpha}}{k_x} \dot{\beta} - k_{y\alpha} \beta + \ddot{s}_u &= 0, \quad M\ddot{y} + b_y\dot{y} + k_y y + h_x \frac{k_{y\alpha}}{k_x} \dot{\alpha} + k_{y\alpha} \alpha + \ddot{s}_v = 0, \\ A\ddot{\alpha} + b_x \frac{k_\alpha}{k_x} \dot{\alpha} + k_\alpha \alpha + C_p \omega \dot{\beta} + b_x \frac{k_{y\alpha}}{k_x} \dot{y} + k_{y\alpha} y - d\ddot{s}_v &= 0, \\ A\ddot{\alpha} + b_x \frac{k_\alpha}{k_x} \dot{\alpha} + k_\alpha \alpha + C_p \omega \dot{\beta} + b_x \frac{k_{y\alpha}}{k_x} \dot{y} + k_{y\alpha} y - d\ddot{s}_v &= 0, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \kappa(\ddot{s}_u + 2\omega\dot{s}_v - \omega^2 s_u) + \frac{b}{m}(\dot{s}_u + \omega s_v) &= -\frac{mn}{2}[a_{Du}(1 - p \cos 2\omega\tilde{t}) - a_{Dv}p \sin 2\omega\tilde{t}], \\ \kappa(\ddot{s}_v - 2\omega\dot{s}_u - \omega^2 s_v) + \frac{b}{m}(\dot{s}_v - \omega s_u) &= \frac{mn}{2}[a_{Du}p \sin 2\omega\tilde{t} - a_{Dv}(1 + p \cos 2\omega\tilde{t})], \end{aligned} \quad (2.1)$$

где

$$\begin{aligned} M &= M_\kappa + m_p, \quad A = A_\kappa + A_p, \quad C = C_p, \quad k_x = k_{Lx} + k_{Rx} = k_{Ly} + k_{Ry} = 2k_0, \\ k_\alpha &= k_{Ly}l_L^2 + k_{Ry}l_R^2 = k_{Lx}l_L^2 + k_{Rx}l_R^2 = k_0(l_L^2 + l_R^2), \\ k_{y\alpha} &= k_{Ly}l_L - k_{Ry}l_R = k_{Lx}l_L - k_{Rx}l_R = k_0(l_L - l_R), \\ b_x &= b_{Lx} + b_{Rx} = b_{Ly} + b_{Ry} = 2b_0, \quad b_\alpha = b_{Ly}l_L^2 + b_{Ry}l_R^2 = b_{Lx}l_L^2 + b_{Rx}l_R^2 = b_0(l_L^2 + l_R^2), \\ b_{y\alpha} &= b_{Lx}l_L - b_{Rx}l_R = b_{Ly}l_L - b_{Ry}l_R = b_0(l_L - l_R), \quad a_{Du} \approx \ddot{x} + d\ddot{\beta}, \quad a_{Dv} \approx \ddot{y} - d\ddot{\alpha}, \end{aligned} \quad (2.2)$$

$$s_u = m_0 r_0 \cos \varphi_0 + mr \sum_{i=1}^n \cos \varphi_i, \quad s_v = m_0 r_0 \sin \varphi_0 + mr \sum_{i=1}^n \sin \varphi_i,$$

$$p_1 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \cos 2\tilde{\psi}_i, \quad p_2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sin 2\tilde{\psi}_i, \quad (2.3)$$

$$\kappa = \begin{cases} 7/5, & \text{для шаров,} \\ 3/2, & \text{для цилиндрических роликов,} \\ 1, & \text{для дисбаланса.} \end{cases} \quad (2.4)$$

3. Преобразование дифференциальных уравнений движения.

3.1. Запись дифференциальных уравнений в комплексном виде.

Введем комплексные переменные X_z, A_z, S_{zu} :

$$X_z = x + iy, \quad A_z = \alpha + i\beta, \quad S_{zu} = s_u + is_v. \quad (3.1)$$

Умножим четные уравнения системы (2.1) на мнимую единицу i , после чего прибавим и вычтем их от соответствующих нечетных уравнений. С учетом (3.1) получим

$$\begin{aligned} L_1 &= M\ddot{X}_z + b_x\dot{X}_z + k_x X_z + ib_x \frac{k_{y\alpha}}{k_x} \dot{A}_z + ik_{y\alpha} A_z + \ddot{S}_{zu} = 0, \quad \bar{L}_1 = 0, \\ L_2 &= A\ddot{A}_z + b_x \frac{k_\alpha}{k_x} \dot{A}_z + k_\alpha A_z - iC_p \omega \dot{A}_z - ib_x \frac{k_{y\alpha}}{k_x} \dot{X}_z - ik_{y\alpha} X_z + id\ddot{S}_{zu} = 0, \quad \bar{L}_2 = 0, \\ L_3 &= \kappa(\ddot{S}_z - 2\omega i\dot{S}_z - \omega^2 S_z) + \frac{b}{m}(\dot{S}_z - \omega iS_z) + \frac{mn}{2}[\ddot{X}_z - id\ddot{A}_z - (\ddot{X}_z + id\ddot{A}_z)pe^{2\omega\tilde{t}i}] = 0, \quad \bar{L}_3 = 0. \end{aligned} \quad (3.2)$$

3.2. Приведение дифференциальных уравнений к безразмерному виду.

Вводим безразмерное время τ [2]:

$$\tau = \omega_0 t, \quad \dot{f} = \frac{df}{dt} = \omega_0 \frac{df}{d\tau} = \omega_0 f', \quad \ddot{f} = \frac{d\dot{f}}{dt} = \omega_0 \frac{d(\omega_0 f')}{d\tau} = \omega_0^2 \frac{df'}{d\tau} = \omega_0^2 f''. \quad (3.3)$$

и безразмерные комплексные переменные α_z, s_{zu}, x_z :

$$\alpha_z = \frac{A_z}{l_\alpha}, \quad s_{zu} = \frac{S_{zu}}{l_s}, \quad x_z = \frac{X_z}{l_x}, \quad (3.4)$$

где $\omega_0, l_\alpha, l_s, l_x$ – масштабные коэффициенты, которые будут выбраны ниже. Поделив первые два уравнения в (3.2) на $M\omega_0^2 l_x$, третье и четвертое на $A\omega_0^2 l_\alpha$, а последние два – на $\kappa\omega_0^2 l_s$, получим

$$\begin{aligned}
L_1 &= x_z'' + \frac{b_x}{M\omega_0} x_z' + \frac{k_x}{M\omega_0^2} x_z + i \frac{b_x}{M\omega_0} \frac{k_{y\alpha} l_\alpha}{k_x l_x} \alpha_z' + i \frac{k_{y\alpha} l_\alpha}{M\omega_0^2 l_x} \alpha_z + \frac{l_s}{M l_x} s_{zu}'' = 0, \quad \bar{L}_1 = 0, \\
L_2 &= \alpha_z'' + \frac{b_x}{\omega_0} \frac{k_\alpha}{k_x A} \alpha_z' + \frac{k_\alpha}{A\omega_0^2} \alpha_z - i \frac{C_p}{A} \frac{\omega}{\omega_0} \alpha_z' - i \frac{b_x}{\omega_0} \frac{k_{y\alpha} l_x}{k_x A l_\alpha} x_z' - i \frac{k_{y\alpha} l_x}{A\omega_0^2 l_\alpha} x_z + i \frac{l_s d}{A l_\alpha} s_{zu}'' = 0, \quad \bar{L}_2 = 0, \\
L_3 &= s_{zu}'' - 2i \frac{\omega}{\omega_0} s_{zu}' - \frac{\omega^2}{\omega_0^2} s_{zu} + \frac{b}{m\kappa\omega_0} \left(s_{zu}' - i \frac{\omega}{\omega_0} s_{zu} \right) + \frac{mnl_x}{2\kappa l_s} \left[x_z'' - i \frac{l_\alpha d}{l_x} \alpha_z'' - \left(\bar{x}_z'' + i \frac{l_\alpha d}{l_x} \bar{\alpha}_z'' \right) pe^{\frac{2\omega}{\omega_0} \tau i} \right] = 0, \quad \bar{L}_3 = 0.
\end{aligned} \tag{3.5}$$

Выбираем неопределенные масштабные коэффициенты l_x, l_α следующим образом

$$l_x = \frac{l_s}{M}, \quad l_\alpha = \frac{l_s d}{A}, \tag{3.6}$$

и вводим безразмерные параметры и масштабный коэффициент ω_0

$$\begin{aligned}
\tilde{k}_x &= \frac{k_x}{M\omega_0^2}, \quad \tilde{k}_\alpha = \frac{k_\alpha}{A\omega_0^2}, \quad \tilde{b}_x = \frac{b_x}{M\omega_0}, \quad \tilde{\omega} = \frac{\omega}{\omega_0}, \quad \tilde{C} = \frac{C_p}{A}, \quad \tilde{b} = \frac{b}{m\kappa\omega_0}, \\
\tilde{k}_{y\alpha} &= \frac{k_{y\alpha}}{M d \omega_0^2}, \quad \tilde{m} = \frac{mn}{2M\kappa}, \quad \tilde{M} = \frac{M d^2}{A}, \quad \omega_0 = \sqrt{\frac{k_x}{M}}.
\end{aligned} \tag{3.7}$$

Тогда уравнения (3.5) примут вид

$$\begin{aligned}
L_1 &= x_z'' + \tilde{b}_x x_z' + x_z + i \tilde{M} \tilde{k}_{y\alpha} (\tilde{b}_x \alpha_z' + \alpha_z) + s_{zu}'' = 0, \quad \bar{L}_1 = 0, \\
L_2 &= \alpha_z'' + \tilde{k}_\alpha (\tilde{b}_x \alpha_z' + \alpha_z) - i \tilde{\omega} \tilde{C} \alpha_z' - i \tilde{k}_{y\alpha} (\tilde{b}_x x_z' + x_z) + i s_{zu}'' = 0, \quad \bar{L}_2 = 0, \\
L_3 &= \bar{D}^2 s_{zu} + \tilde{b} \bar{D} s_{zu} + \tilde{m} [x_z'' - i \tilde{M} \alpha_z'' - (\bar{x}_z'' + i \tilde{M} \bar{\alpha}_z'') pe^{2\tilde{\omega} \tau i}] = 0, \quad \bar{L}_3 = 0,
\end{aligned} \tag{3.8}$$

$$\text{где } D x = x' + i \tilde{\omega} x, \quad D^2 x = x'' + 2i \tilde{\omega} x' - \tilde{\omega}^2 x. \tag{3.9}$$

На основных движениях

$$x_z = 0, \quad \alpha_z = 0, \quad s_{zu} = 0 \tag{3.10}$$

и устойчивость можно исследовать по этим комплексным координатам. Система (3.8) нестационарная, поэтому тяжело поддается исследованию.

3.3. Запись дифференциальных уравнений движения (3.8) в подвижной системе координат $G\xi\eta\zeta$. Сделаем замену переменных

$$\begin{aligned}
x_z &= e^{i\tilde{\omega}\tau} \xi_z, \quad x_z' = e^{i\tilde{\omega}\tau} D \xi_z, \quad x_z'' = e^{i\tilde{\omega}\tau} D^2 \xi_z, \quad \alpha_z = i e^{i\tilde{\omega}\tau} \theta_z, \quad \alpha_z' = i e^{i\tilde{\omega}\tau} D \theta_z, \quad \alpha_z'' = i e^{i\tilde{\omega}\tau} D^2 \theta_z, \\
s_{zu} &= e^{i\tilde{\omega}\tau} \tilde{s}_z, \quad s_{zu}' = e^{i\tilde{\omega}\tau} D \tilde{s}_z, \quad s_{zu}'' = e^{i\tilde{\omega}\tau} D^2 \tilde{s}_z.
\end{aligned} \tag{3.11}$$

Тогда система (3.8) примет вид

$$\begin{aligned}
L_1 &= D^2 \xi_z + \tilde{b}_x D \xi_z + \xi_z - \tilde{M} \tilde{k}_{y\alpha} (\tilde{b}_x D \theta_z + \theta_z) + D^2 \tilde{s}_z = 0, \quad \bar{L}_1 = 0, \\
L_2 &= D^2 \theta_z + (\tilde{k}_\alpha \tilde{b}_x - i \tilde{\omega} \tilde{C}) D \theta_z + \tilde{k}_\alpha \theta_z - \tilde{k}_{y\alpha} (\tilde{b}_x D \xi_z + \xi_z) + D^2 \tilde{s}_z = 0, \quad \bar{L}_2 = 0, \\
L_3 &= s_z'' + \tilde{b} s_z' + \tilde{m} [D^2 \xi_z + \tilde{M} D^2 \theta_z - (\bar{D}^2 \bar{\xi}_z + \tilde{M} \bar{D}^2 \bar{\theta}_z) p] = 0, \quad \bar{L}_3 = 0.
\end{aligned} \tag{3.12}$$

Это система обыкновенных линейных дифференциальных уравнений второго порядка с постоянными коэффициентами. Заметим, что для таких систем теория устойчивости движений наиболее разработана [3].

На основных движениях (см. (3.10))

$$\xi_z = 0, \quad \theta_z = 0, \quad s_z = 0. \tag{3.13}$$

Будем исследовать устойчивость основных движений (3.13) по дифференциальным уравнениям (3.12).

4. Оценка порядка малости безразмерных параметров

В систему уравнений (3.12) входит девять независимых безразмерных параметров

$$\tilde{M}, \tilde{k}_\alpha, \tilde{k}_{y\alpha}, \tilde{\omega}, \tilde{C}, \tilde{b}_x, \tilde{b}, \tilde{m}, p. \quad (4.1)$$

Оценка параметров $\tilde{\omega}, \tilde{C}, \tilde{b}, \tilde{m}, p$ проведена в работе [2].

Случай $p=1$, как и для ротора с неподвижной точкой [2], является критическим. Последнее уравнение (3.12) при этом имеет, по крайней мере, один нулевой корень.

Параметр $\tilde{M}$ эквивалентный 1, так как является отношением момента инерции и осевого момента инерции некоторого условного ротора. Параметры $\tilde{k}_\alpha, \tilde{b}_x$ характеризуют силы сопротивления в системе и для реальных роторных машин эквивалентны 1. Параметр $\tilde{k}_{y\alpha}$ может изменяться в пределах от -1 до 1 . Для почти симметричных относительно начала координат точек R и L имеем $\tilde{k}_{y\alpha} \sim 0$.

Окончательно имеем такие соотношения малости для безразмерных параметров:

$$\tilde{\omega} \in (0, +\infty), \tilde{m} \ll 1, \tilde{M}, \tilde{C}, \tilde{k}_\alpha, \tilde{b}_x, \tilde{b} \sim 1, p \in [0, 1], \tilde{k}_{y\alpha} \in [-1; 1], (\tilde{k}_{y\alpha} \sim 0). \quad (4.2)$$

В дальнейшем при исследовании роторной системы на устойчивость будем считать, что между параметрами системы имеют место соотношения (4.2).

5. Характеристическое уравнение

Преобразуем систему (3.12). Сначала от второго уравнения вычтем первое, а затем введем новую переменную $\xi_{\theta z}$:

$$\xi_{\theta z} = \xi_z + \tilde{M}\theta_z. \quad (5.1)$$

Получим

$$\begin{aligned} L_1 &= D^2 \xi_{\theta z} + \tilde{b}_x D \xi_{\theta z} + \xi_{\theta z} - \tilde{M} D^2 \theta_z - \tilde{M}(1 + \tilde{k}_{y\alpha})(\tilde{b}_x D \theta_z + \theta_z) + D^2 s_z = 0, \bar{L}_1 = 0, \\ L_2 &= -D^2 \xi_{\theta z} - (1 + \tilde{k}_{y\alpha})(\tilde{b}_x D \xi_{\theta z} + \xi_{\theta z}) + \\ &+ (1 + \tilde{M})D^2 \theta_z + (\tilde{k}_\alpha + \tilde{M}(1 + 2\tilde{k}_{y\alpha}))(\tilde{b}_x D \theta_z + \theta_z) - i\tilde{\omega}\tilde{C}D\theta_z = 0, \bar{L}_2 = 0, \\ L_3 &= s_z'' + \tilde{b}s_z' + \tilde{m}(D^2 \xi_{\theta z} - p\bar{D}^2 \bar{\xi}_{\theta z}) = 0, \bar{L}_3 = 0. \end{aligned} \quad (5.2)$$

Характеристическое уравнение системы (5.2) имеет вид

$$\begin{vmatrix} a_1 + a_3 & 0 & \tilde{M}a_4 & 0 & a_1 & 0 \\ 0 & \bar{a}_1 + \bar{a}_3 & 0 & \tilde{M}\bar{a}_4 & 0 & \bar{a}_1 \\ a_4 & 0 & a_5 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \bar{a}_4 & 0 & \bar{a}_5 & 0 & 0 \\ \tilde{m}a_1 & -\tilde{m}p\bar{a}_1 & 0 & 0 & \lambda^2 + \tilde{b}\lambda & 0 \\ -\tilde{m}pa_1 & \tilde{m}\bar{a}_1 & 0 & 0 & 0 & \lambda^2 + \tilde{b}\lambda \end{vmatrix} = 0, \quad (5.3)$$

где $a_1 = \lambda^2 + 2i\tilde{\omega}\lambda - \tilde{\omega}^2$, $a_2 = \lambda + \tilde{\omega}i$, $a_3 = \tilde{b}_x a_2 + 1$,

$$a_4 = -[a_1 + (1 + \tilde{k}_{y\alpha})a_3], a_5 = (1 + \tilde{M})a_1 - \tilde{C}\tilde{\omega}ia_2 + [\tilde{M}(1 + 2\tilde{k}_{y\alpha}) + \tilde{k}_\alpha]a_3. \quad (5.4)$$

Раскрыв определитель (5.3) получим

$$\begin{aligned} & \lambda^2 (\lambda + \tilde{b})^2 [(a_1 + a_3)a_5 - \tilde{M}a_4^2][(\bar{a}_1 + \bar{a}_3)\bar{a}_5 - \tilde{M}\bar{a}_4^2] - \\ & - \tilde{m}\lambda(\lambda + \tilde{b})[\bar{a}_1^2\bar{a}_5((a_1 + a_3)a_5 - \tilde{M}a_4^2) + a_1^2a_5((\bar{a}_1 + \bar{a}_3)\bar{a}_5 - \tilde{M}\bar{a}_4^2)] + \\ & + \tilde{m}^2 a_1^2 a_5 \bar{a}_1^2 \bar{a}_5 (1 - p^2) = 0 \end{aligned} \quad (5.5)$$

или

$$X\bar{X} - \tilde{m}(X\bar{Y} + \bar{X}Y) + \tilde{m}^2(1 - p^2)Y\bar{Y} = 0$$

или

$$(X - \tilde{m}Y)(\bar{X} - \tilde{m}\bar{Y}) - \tilde{m}^2 p^2 Y\bar{Y} = 0, \quad (5.6)$$

где

$$X = \lambda(\lambda + \tilde{b})[(a_1 + a_3)a_5 - \tilde{M}a_4^2], \quad Y = a_1^2 a_5. \quad (5.7)$$

Уравнение (5.6) является полиномом 12-ой степени относительно λ с действительными коэффициентами. Для устойчивости основных движений достаточно, что бы действительные части всех корней характеристического уравнения были отрицательными [3]. В общем случае найти его корни в аналитическом виде невозможно, как и невозможно применить к этому полиному критерий Рауса-Гурвица. Поэтому актуально получить разложения этих корней по степеням малого параметра $\tilde{m}$ [4] и по разложениям сделать заключение об устойчивости основных движений.

Выводы

1) устойчивость основных движений ротора описывается системой (3.12) состоящей с трех пар комплексно-сопряженных обыкновенных дифференциальных уравнений 2-го порядка с постоянными коэффициентами, которые содержат 9 независимых безразмерных параметров (4.1);

2) для параметров имеют место соотношения (4.2).

3) для исследования устойчивости необходимо оценить действительные части 12-ти корней уравнения (5.6).

Список литературы: 1. *Філімоніхін Г.Б.* Методика складання диференціальних рівнянь руху роторних систем з автобалансирами і її застосування до системи ротор – масивний корпус - автобалансир / *Філімоніхін Г.Б., Гончаров В.В.* // Збірник наукових праць КНТУ, 2009, Вип. 22, С. 357–363. 2. *Філімоніхін Г.Б.* Безрозмірні диференціальні рівняння, що описують стійкість основного руху системи, складеної з незрівноваженого ротора з нерухомою точкою, корпуса і автобалансира / *Г.Б.Філімоніхін, В.В.Гончаров, І.І.Філімоніхіна* // “Східно-європейський журнал передових технологій”, 2011, Вип. 1/3 (49), С. 40–44. 3. *Меркин Д.Р.* Введение в теорию устойчивости движения. / *Д.Р.Меркин.* – М.: Наука, 1971. - 312 с. 4. *Найфэ А.* Введение в методы возмущений: Пер. с англ. / *А. Найфэ.* – М.: Мир, 1984. – 535 с.

Поступила в редколлегию 15.06.2012

УДК 629.7.036.5

Ю.А.МИТИКОВ, канд. техн. наук, доц., зав. каф., ДНУ, Днепропетровск,
С.А. КУДА, нач. сект. проектно-констр. отд., ГП «КБ «Южное»
 им. М.К. Янгеля», Днепропетровск

ОПТИМИЗАЦИЯ СКОРОСТИ ВВОДА ГОРЯЧЕГО ГЕЛИЯ В БАК С КИСЛОРОДОМ

Для баків великого подовження виявлено діапазон часу роботи рухової установки, коли доцільно оптимізувати швидкість введення гарячого газу наддування. Одержаний критерій, що

дозволяє переносити результати випробувань на польотні умови. Результати досліджень підтверджені льотними випробуваннями.

Ключові слова: гарячий газ наддування, оптимальна швидкість введення, далекобійність струменя.

Для баков большого удлинения выявлен диапазон времени работы двигательной установки, когда целесообразно оптимизировать скорость ввода горячего газа наддува. Получен критерий, позволяющий переносить результаты испытаний на полетные условия. Результаты исследований подтверждены летными испытаниями.

Ключевые слова: горячий газ наддува, оптимальная скорость ввода, дальноточность струи.

For tanks of high aspect ratio a time range of the propulsion system been revealed, when it is appropriate to optimize the speed of the input hot gas for pressurization. We obtain a criterion which allows to transfer test results to flight conditions. The research results are confirmed by flight tests.

Keywords: hot gas pressurization, the optimum speed of the input range of the jet.

1. Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными практическими задачами

В настоящее время в качестве топлива ЖРД первых ступеней ракет-носителей широко используется (и планируется к применению в обозримом будущем) жидкий кислород и углеводородное горючее типа керосин. В качестве примера можно привести РН «Зенит» (Украина), все многочисленное семейство РН «Союз-2», «Ангара», «Русь-М» (Российская Федерация), Atlas III, Atlas V, Antares, Falcon 9 (США), KSLV1, KSLV2 (Южная Корея) и др.

Для наддува топливных баков большинства из указанных носителей используются гелиевые газобаллонные системы. За пятидесятилетнюю историю применения гелиевые системы, несмотря на усложнение конструкции ракеты, стартовой позиции и испытательной базы, зарекомендовали себя с положительной стороны. Гелий, как известно, инертный газ, обладает наибольшей после водорода работоспособностью, не конденсируется в баках. При использовании в теплообменниках современных ЖРД окислительного генераторного газа (его температура существенно ограничена стойкостью материалов) имеет весьма умеренную температуру на входе в баки, что исключает проблемы перегрева верхних алюминиевых днищ баков. В силу отсутствия принципиальных проблем гелиевые системы несложны в проектировании, что способствует их распространению при разработке космических комплексов в сжатые сроки и ограниченном финансировании. Привлекательны они и для конструкторов стран, делающих первые шаги в создании ракет-носителей.

Своеобразием сегодняшнего времени является то, что все больше стран выходят и стремятся выйти на мировой рынок оказания пусковых услуг. В связи с этим растет конкуренция, и побеждать в ней, естественно, будет тот, кто обеспечит меньшую цену вывода единицы массы на опорную орбиту при требуемой надежности. В связи с этим заметно возрастает актуальность работ, направленных на оптимизацию параметров систем носителей, на нахождение наиболее эффективных режимов их работы. Уместно отметить, что конечная масса систем наддува может достигать 7% конечной массы ступени [1], и тут,

несмотря на большую историю применения горячих газобаллонных систем, есть ещё ряд неисследованных вопросов [2].

2. Анализ последних достижений и публикаций, в которых начато решение данной проблемы

Необходимо констатировать, что вопросам совершенствования систем наддува топливных баков ЖРД уделяется незаслуженно малое внимание. Отчасти объяснить это можно как сложностью и малоизученностью процессов, происходящих в топливных баках на активном участке траектории полета, так и дороговизной экспериментальных исследований с имитацией основных влияющих факторов [3]. Последние есть смысл перечислить – существенно изменяющиеся во времени внешний аэродинамический нагрев, продольная перегрузка, расход и температура газа на наддув, расход топлива из бака, колебания и вибрации бака и др.

Рассмотрим многочисленные оптимистичные экспериментальные данные, например, [4], которые получены на цилиндрических баках небольшого удлинения ($H/d \approx 0,8$, где H – высота бака, а d – его диаметр). Эти данные свидетельствуют о том, что существует оптимальная скорость ввода горячего газа в свободные объемы топливных баков. Ее реализация может позволить уменьшить потребности в газе наддува до 30%. Для носителя среднего класса с газобаллонной системой наддува это эквивалентно увеличению массы полезной нагрузки на несколько десятков килограммов. При современной стоимости вывода 1 кг полезной нагрузки на опорную орбиту в 30 – 40 тысяч долларов, количестве пусков носителя в год 3, времени эксплуатации ракетного комплекса 30 лет, экономический эффект составляет не менее 50 млн. долларов.

В тоже время, известны экспериментальные данные, показывающие, что для баков большого удлинения ($H/d \approx 5$), характерного для цилиндрических баков окислителя первых ступеней носителей, давление газа в баке на момент окончания слива топлива из него не зависит от скорости ввода газа в бак. При этом диапазон скоростей составлял $w_{вх} = 4 \div 470$ м/с. Объяснений указанным фактам, противоречащим, на первый взгляд, друг другу, а тем более обоснованных предложений по использованию выявленных эффектов в практике проектирования реальных газобаллонных систем наддува, в технической литературе авторами не обнаружено.

3. Выделение нерешенных ранее частей общей проблемы, которым посвящена данная статья

Рассмотрим более внимательно и сопоставим условия проведения экспериментальных типичных исследований [4], и реальные условия работы газобаллонной горячей системы наддува. Эксперименты [4] и им подобные проводились исключительно при постоянных по времени расходах газа на наддув, его температуре на входе в бак, скорости слива жидкости (холодная вода) из бака. Оптимальной скоростью ввода газа в бак считалась та, которая обеспечивала максимальное давление газа в баке на момент окончания слива жидкости из бака. Аналогичным образом проводились исследования и на баках существенно большего удлинения, в том числе и с использованием кипящего кислорода.

Рассмотрим реальные условия работы гелиевой горячей газобаллонной системы. На рис.1 приведены экспериментальные данные изменения давления гелия в баллонах системы, температуры гелия на входе в бак жидкого кислорода, и расчетные значения расхода гелия на наддув (получены по методике [5]). Сюда следует добавить и переменный по времени расход топлива из бака. Как известно ЖРД современных носителей во время полета дросселируют для уменьшения скоростного напора, ограничения продольной перегрузки, перед выключением. Причем, на самом последнем отработанном российском ЖРД РД-191 диапазон дросселирования составляет $30 \div 105\%$.

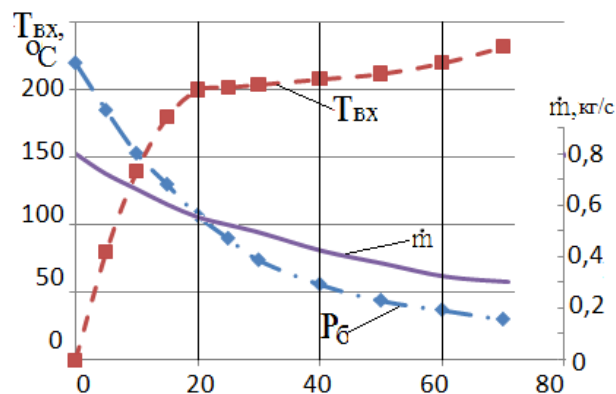


Рис.1. Изменение параметров штатной газобаллонной системы наддува: $P_{бал}$ — изменение давления гелия в баллонах; $T_{вх}$ — температура гелия на входе в бак; $\square$ — расчетное значение расхода гелия на наддув бака

Как видно из приведенных графиков, основные параметры штатной системы наддува по времени работы претерпевают существенные изменения. Особенно это заметно в начальный момент времени. Так, температура гелия на входе в бак при номинальном значении $\sim 300^\circ\text{C}$ первые тридцать секунд полета плавно увеличивается от 0°C до $\sim 200^\circ\text{C}$. Также существенно меняется и расход гелия на наддув в сторону убывания. Таким образом, реальные условия работы системы полетного наддува существенно отличаются от исследовательских условий, при которых получены оптимистичные результаты.

4. Формулирование целей статьи

Оптимизация скорости ввода газа наддува в баки является идеальным способом улучшения характеристик газобаллонной системы наддува в том смысле, что не требует каких-либо кардинальных переделок системы, разработки тех или иных новых узлов или агрегатов, дополнительной отработки. Отдавая себе отчет в том, что конечное давление газа в баке (определяющий момент времени для современных двигательных установок) не зависит от величины скорости ввода горячего рабочего тела в бак, можно целенаправленно изменить указанную скорость ввода. Далее, по результатам летных испытаний по величине прироста давления газа в баке или увеличению конечного давления гелия в баллонах (в штатных системах задействованы системы поддержания потребного давления газа в баке) уменьшить расход газа на наддув (снизить запасы гелия на момент старта).

Целью настоящей статьи является улучшение массовых характеристик газобаллонной системы наддува наиболее рациональным способом — путем оптимизации скорости ввода горячего гелия в баки с жидким кислородом первых ступеней ракет-носителей в наиболее подходящие для этого моменты времени. В первую очередь, рекомендации по оптимизации скорости должны касаться баков большого удлинения ракет-носителей на активном участке полета, для которых

экспериментальные данные не давали почвы для оптимизма в этом направлении. Основой для достижения поставленной цели является анализ известных экспериментальных данных по протеканию внутрибаковых процессов, как модельных, так и натурных.

5. Изложение основного материала исследования с полным обоснованием полученных научных результатов

Анализ модельных испытаний горячей гелиевой системы наддува бака удлинением $H/d \approx 4,7$ (компонент топлива – жидкий кислород) показывает, что при прочих равных условиях изменение скорости ввода ($w_{вх} = 4 \div 470$ м/с) горячего гелия ($T_{вх} \approx 300^\circ\text{C}$) в бак приводит к различиям в значениях давления газа в баке на 10 – 20 с слива ($H/d \approx 0,8$) до 2,5 раз (полное время слива топлива ~ 145 с)! Соответственно на эти моменты времени существенно разнятся и среднемассовые температуры газа в баке. На этих испытаниях гелий вводился в бак вдоль его продольной оси через цилиндрический газоввод, который обеспечивал приемлемую равномерную эпюру скорости на выходе. Скорость ввода гелия регулировалась с помощью замены съемной шайбы в выходном сечении газоввода. Часть испытаний проведена с вводом гелия через иной газоввод, обеспечивающий ввод рабочего тела в радиальном направлении эквидистантно верхнему днищу бака.

Проведенные испытания показали, что и при наддуве горячим гелием бака с жидким кислородом в диапазоне удлинения бака $0,8 \div 1,0$ (первые 20 ÷ 30с слива) существует оптимум скорости ввода рабочего тела наддува, который обеспечивает максимальное давление газа в баке в этот период. Другими словами, в первоначальный момент времени работы системы потребное давление газа в баке большого удлинения можно обеспечить меньшим количеством гелия.

Анализ расчетных экспериментальных данных показывает, что для штатной гелиевой системы наддува за первые 30 с работы двигателя (~ 20% его полной работы) тратится до 40% гелия. Как видно из графика $T_{вх} = f(\tau)$ (рис.1), этот гелий существенно «недогрет» до номинальной температуры. Причём, в штатных условиях в обязательном порядке вводится контроль нижнего предела давления газа в баке. Такое конструктивное построение системы при уменьшении величины рабочего давления газа в баке до зоны этого контроля приводит к включению резервной системы, которая увеличивает расход газа на наддув. Тем самым, еще в большей степени растут непроизводительные потери гелия в силу его еще большей «недогретости».

Таким образом, становится очевидным целесообразность оптимизирования для горячей гелиевой газобаллонной системы скорости ввода гелия в бак в первые ~30 с её работы. Именно в этот промежуток времени (время выхода теплообменника на режим по температуре) можно сэкономить гелий (до 10% от запасенного на борту) для поддержания требуемого уровня давления газа в баке в этот период полета ракеты-носителя.

Возникает вопрос, – Как перенести полученные результаты на штатные условия, какой параметр взять за основу в отсутствие возможности классического моделирования данных процессов? На первый взгляд, таким параметром может быть скорость ввода (или число Re). Однако анализ результатов испытаний

системы наддува с меньшей температурой гелия на входе в бак ($T_{\text{вх}} = 0^{\circ}\text{C}$) показывает существенно меньшую зависимость давления газа в баке от скорости в этом случае. Важно отметить, что при исследованиях с применением для наддува паров кислорода с температурой 300°C оптимальная скорость ввода газа при прочих равных условиях уменьшилась в $\sim 3,5$ раза по сравнению с гелиевым наддувом той же температуры.

Приведенные экспериментальные факты (влияние плотности вводимого рабочего тела) свидетельствуют о роли подъемной (архимедовой) силы на интенсивность внутрибаковых процессов. В первую очередь подъемная сила может оказывать влияние на параметры неизотермической струи (осевая скорость и температура, эжектированный объем, дальнобойность) газа в баке. Следует заметить, что в полете выталкивающая сила, действующая на горячую струю газа наддува, будет заметно больше из-за наличия продольной перегрузки (на современных носителях $n_x \sim 4$). Этот существенный нюанс делает невозможным прямое заимствование оптимальной скорости ввода горячего газа, полученной при наземной отработке на штатном (не модельном) баке, в бак носителя для летных условий. При этом в ряде случаев (недостаточность финансирования, отсутствие больших уникальных стендов, сжатые сроки разработки комплекса и др.) полномасштабная наземная отработка системы наддува не проводится вообще (только модельная).

Для конкретизации направления дальнейших исследований рассмотрим температурные поля газа в баке с кислородом по его высоте ($H/d \approx 0,8$), полученные экспериментальным путём при наземной отработке (рис.2). Наддув бака производился гелием с постоянными расходом и температурой $T_{\text{вх}} \approx 300^{\circ}\text{C}$. На экспериментах менялась только скорость ввода гелия; место ввода и направление (вдоль продольной оси бака) были одинаковыми. Температурные поля строились по показаниям датчиков, установленных на штангах и поплавке внутри бака.

Как видно из рис.2, скорость ввода газа наддува в бак оказывает

существенное влияние на характер распределения температуры в газе. При малой скорости гелия ($w_1 \square 10$ м/с) имеем ярко выраженное температурное расслоение газа по высоте бака. Увеличение скорости ввода газа в бак приводит к выравниванию температурного поля газа в баке по его высоте. При оптимальной (для данных условий) скорости ввода газа получено практически равномерное температурное поле.

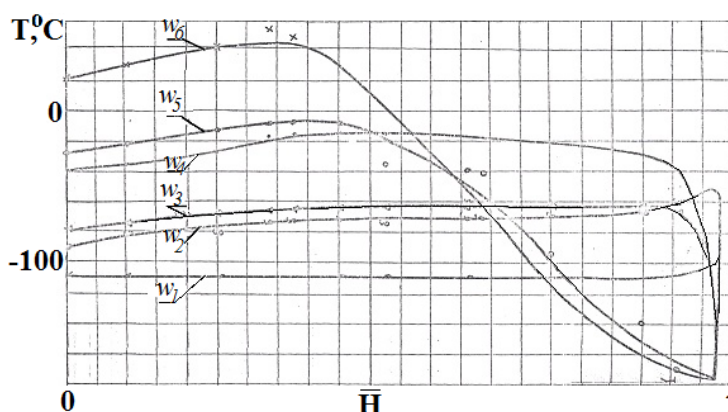


Рис.2. Температурные поля газа в баке с кислородом при наддуве гелием: $w_1 \square w_2 \square w_3 \square w_4 \square w_5 \square w_6$ – скорости ввода гелия в бак

Дальнейшее повышение скорости ввода газа снижает температуру газа в баке по его высоте и увеличивает ее значение над зеркалом жидкости. Это

объясняется интенсивным внедрением горячей струи газа наддува в жидкий кислород с соответствующими потерями энергии.

Наличие таких температурных профилей хорошо объясняется понятием дальнобойности горячей струи газа. Как мы видим, при оптимальной скорости ввода газа в бак (максимальное давление газа в баке на 30 с слива) дальнобойность струи чуть меньше высоты свободного объема бака. В этом случае происходит выравнивание температурного профиля газа в баке, нет повышенных потерь тепла в граничные поверхности (толстостенное верхнее днище бака и зеркало кислорода). Отсюда можно сделать вывод, имеющий большое практическое значение – для полетных условий полученная оптимальность сохранится при обеспечении в натурных условиях такой же дальнобойности струи газа наддува.

И еще на одном интересном экспериментальном факте следует остановиться. При вводе горячего гелия в бак со скоростью большей оптимальной, происходит заметное испарение жидкого кислорода. Тепловая энергия струи частично тратится на нагрев кислорода в зоне контакта до температуры его насыщения при текущем давлении газа в баке, и далее на его испарение. Пришедший в свободный объем бака «холодный» кислород отбирает тепло от находящегося там «теплого» газа, снижая его среднемассовую температуру. Баланс тепловой энергии для этого случая показывает следующее. Вклад ушедшей от струи газа тепловой энергии в компонент в уменьшение давления газа в баке заметно превышает прирост давления газа в баке за счет дополнительного прихода в свободный объем паров кислорода. В итоге, при вводе газа наддува с повышенной скоростью (против оптимальной) в бак мы получаем в первые 20 – 30 с полета ряд отрицательных последствий. Это увеличение расхода гелия на наддув, увеличение массы газа наддува на момент выключения двигателя, уменьшение рабочих запасов топлива, повышенный прогрев верхнего слоя топлива.

На рис.3 приведены расчетно-экспериментальные данные изменения по времени полета массы паров кислорода в свободном объеме цилиндрического нетеплоизолированного бака с жидким кислородом большого удлинения при вводе в него гелия со скоростью, превышающей оптимальную. Там же показан номинальный удельный аэродинамический тепловой поток к цилиндрической поверхности бака. Из сопоставления двух графиков видно, что в районе максимума аэродинамического потока в стенку бака приход паров в свободный

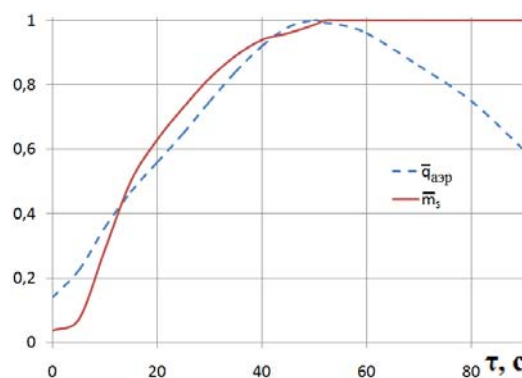


Рис.3 $\bar{q}_{\text{аэр}}$ – изменение относительного количества паров кислорода в свободном объеме бака при работе системы наддува по времени полета: $\bar{m}_s = m_{si} / m_{s\text{max}}$ – масса паров кислорода на i -тый момент времени; $\bar{q}_{\text{аэри}} = q_{\text{аэри}} / q_{\text{аэрmax}}$ – номинальный аэродинамический тепловой поток в стенку бака окислителя на i -тый момент времени

объем бака практически прекращается. Это можно объяснить тем, что к этому моменту времени струя горячего газа наддува перестает взаимодействовать с поверхностью кислорода и, соответственно, испарять его. Вклад в испарение топлива собственно аэродинамического нагрева незначителен.

Дальнейшая по времени полета оптимизация скорости ввода газа в баки при использовании однорежимных газовводов не приводит к положительному результату. После $H/d \approx 1$ на распространение неизотермической струи в условиях продольной перегрузки сильное влияние начинает оказывать стесняющее действие конструкции бака. При высокой степени неизотермичности для реальных конструкций цилиндрических баков (наиболее распространенная форма) носителей струя газа далее чем на $H/d \approx 2$ распространиться не может теоретически [7].

По приведенным выше рекомендациям была уменьшена скорость ввода горячего гелия в баки с кислородом современных носителей. Полученные летные данные подтвердили правильность принятых решений.

7. Выводы

В результате проведенных исследований установлено, что для топливных баков большого удлинения при использовании для их наддува горячих газобаллонных систем целесообразно при однорежимных газовводах оптимизировать скорость ввода газа в баки первые $20 \div 30$ с полета (время выхода теплообменников на режим и удлинение бака $\sim 0,8$). Это позволяет поддерживать потребное давление газа в баке наименьшим расходом «недогретого» гелия. Критерием оптимальности вводной скорости газа наддува является дальнобойность струи, которая должна обеспечивать выравнивание температурного профиля газа в баке по его высоте, но не взаимодействовать с поверхностью топлива. Обеспечение оптимальной скорости ввода горячего гелия для бака окислителя I ступени носителя среднего класса позволяет уменьшить потребности в рабочем теле наддува до 10%. Полученные рекомендации подтверждены летными испытаниями.

Список литературы: 1. *Беляев, Н.М.* Системы наддува топливных баков ракет [Текст] / *Н.М.Беляев*. М. : Машиностроение, 1976. – 336 с. 2. *Митиков, Ю.А.* Газобаллонные системы наддува и ракеты–носители нового поколения [Текст] / *Ю.А.Митиков* // Космическая техника. Ракетное вооружение. – 2012. – №1. – С. 179 – 185. 3. *Митиков, Ю.А.* Пути повышения надежности и безопасности эксплуатации ракетных комплексов [Текст] / *Ю.А. Митиков, В.А. Антонов, М.Л. Волошин, А.И. Логвиненко* // Авиационно-космическая техника и технология. – 2012. – № 3 (90). – С. 30 – 36. 4. *Козлов А.А., Новиков В.Н., Соловьев Е.В.* Системы питания и управления жидкостных ракетных двигательных установок.- М.: Машиностроение, 1988. – 352 с. 5. *Митиков, Ю.А.* Расчет параметров системы наддува с учетом взаимодействия струи газа с компонентом топлива [Текст] / *Ю.А.Митиков, Г.М. Иванецкий* // Холодильная техника и технология. – 2012. – №2(136). – С.18-25. 6. *Присняков, В.Ф.* Определение параметров гелия при опорожнении емкости с учетом сжимаемости и сопротивления магистрали [Текст] / *В.Ф. Присняков, М.И. Галась, А.И. Логвиненко, В.А. Мосейко* // Проблемы высокотемпературной техники. –1981. – №1. – С.86 – 94. 7. *Митиков Ю.А., Кудя С.А.* Определение коэффициентов стеснения для неизотермических турбулентных струй. В сб. АН УССР : Проектирование сложных технических систем. Киев: Наукова думка, 1989, с.153 – 155.

Поступила в редколлегию 15.06.2012

О.А. ЛЯШЕНКО, канд. техн. наук, доц., УГХТУ, Днепропетровск,
Н.Ю. НАУМЕНКО, канд. техн. наук, доц., УГХТУ, Днепропетровск,
Л.В. НОВИКОВА, асис., УГХТУ, Днепропетровск

АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ АСПЕКТОВ ЗАДАЧИ ОПТИМИЗАЦИИ СТЕРЖНЕВЫХ КОНСТРУКЦИЙ С УЧЁТОМ ОБЩЕЙ И ЛОКАЛЬНОЙ КОРРОЗИИ. ЧАСТЬ 1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ И ПРОБЛЕМЫ, ВЫЗВАННЫЕ НАЛИЧИЕМ ДВУХ РАСЧЁТНЫХ СХЕМ

Пропонується узагальнена постановка задачі оптимізації стержневих конструкцій у вигляді задачі математичного програмування, що включає в себе дві розрахункові схеми, яка дозволяє моделювати корозійний процес як в конструкції в цілому, так і в місцях з'єднання стержнів між собою. Пропонується аналіз проблемних аспектів задачі, викликаних, в першу чергу, появою другої розрахункової схеми, обумовленої умовами закріплення. Зроблено висновок про доцільність переходу до двоетапної моделі оптимізації.

Ключові слова: оптимізація, стержнева конструкція, корозійний процес

Предлагается обобщённая постановка задачи оптимизации стержневых конструкций в виде задачи математического программирования, включающая в себя две расчётные схемы, которая позволяет моделировать коррозионный процесс как в конструкции в целом, так и в местах соединения стержней между собой. Предлагается анализ проблемных аспектов задачи, вызванных, в первую очередь, появлением второй расчётной схемы, обусловленной условиями закрепления. Сделан вывод о целесообразности перехода к двухэтапной модели оптимизации.

Ключевые слова: оптимизация, стержневая конструкция, коррозионный процесс

An integrated formulation of the objective for rod-shaped construction optimization in a form of a mathematical programming problem including two analytical models is proposed. It allows to model a corrosion process in a construction integrally as well as in rod junctions. We analysed problem aspects of the objective caused, first of all, by the appearance of the second analytical model determined by the conditions of afixment. The conclusion about the utility of conversion to a two-stage model of optimization is drawn.

Keywords: optimization, rod-shaped construction, corrosion process

1. Введение

Значительная часть конструкций в период эксплуатации подвергается воздействию агрессивных сред, вызывающих повреждение и даже выход из строя строительных объектов. Особенно это относится к промышленным сооружениям, где внешняя среда, жидкая и газообразная, соприкасающиеся со строительными конструкциями, загрязняется продуктами и отходами производства.

Частые отказы различных конструкций не только несут материальные потери, негативно сказываются на технологическом процессе, но и представляют опасность для жизни людей. Характерными являются отказы конструкций в результате воздействия на них агрессивной среды. Для металлических конструкций – это разрушение материала в результате коррозионного износа и в дальнейшем потеря его прочности. Предприятия химической, нефтеперерабатывающей промышленности являются весьма неблагоприятными в этом отношении, так как среда, в которой они находятся, по содержанию

наиболее агрессивных компонентов относится к высоко- и сильноагрессивной, где скорость коррозии превышает 0,3 мм/год.

Поэтому задача разработки новых моделей, методов и алгоритмов расчёта корродирующих конструкций, а также построение информационных систем, реализующих их, представляется актуальной.

При рассмотрении корродирующих конструкций в большинстве известных работ [1-3] принималось существенное допущение о том, что коррозионный процесс в местах соединения их стержневых элементов происходит так же, как и во всей конструкции в целом. Анализ условий соединения стержней, предполагающих существенные отличия этих процессов, вызванные наличием концентраторов напряжений, и возможно, концентраторов коррозии, не было уделено должного внимания. Поэтому авторам представляется не только актуальным, но и необходимым вопрос рассмотрения всей конструкции, с учётом коррозионных процессов, происходящих в местах соединений стержневых элементов.

2. Обобщённая математическая постановка задачи оптимизации

Классическая теория нелинейного математического программирования (НЛП) подробно изложена, например в [4]. В данной работе основное внимание уделено применению теории параметрической оптимизации для поиска оптимальных решений при проектировании корродирующих многоэлементных стержневых конструкций. Специфика оптимизационных задач данного класса заключается в том, что в функции ограничений будет входить время как параметр.

Рассматриваются стержневые конструкции типа ферм с произвольной геометрией, граничными условиями и условиями нагружения. Предполагается, что шарниры являются идеально гладкими, а оси всех элементов проходят через геометрические центры шарниров. Внешними нагрузками являются сосредоточенные силы, приложенные в узлах. Вес конструктивных деталей, узлов и стержней конструкции включается во внешнюю нагрузку. Предполагается также, что внешняя нагрузка носит детерминированный характер. Осевая сила по длине элемента считается постоянной величиной. Под оптимальной конструкцией в данной работе понимается конструкция минимального объёма, удовлетворяющая условиям прочности, устойчивости, жёсткости и конструктивным ограничениям, накладываемым на переменные проектирования.

Пусть ферма состоит из N конечных элементов (КЭ) произвольного поперечного сечения, часть которых работает на растяжение, часть – на сжатие. Необходимо выбрать параметры конструкции таким образом, чтобы её объём при этом был минимальным.

Постановка задачи оптимизации многоэлементной стержневой конструкции, подверженной воздействию сильноагрессивной среды, как задачи НЛП, в общем случае может быть записана следующим образом:

$$\begin{cases} V = \sum_{i=1}^{N_1} l_i A_i(\bar{x}) \rightarrow \min \\ g_1 : R - \sigma_i(\bar{x}, t) \geq 0, & i = \overline{1, N_1} \\ g_2 : \sigma_k^*(\bar{x}, t) - \sigma_k(\bar{x}, t) \geq 0, & k \in K \\ g_3 : [f] - f_n(\bar{x}, t) \geq 0, & n \in N \\ g_4 : x_i \in [x_i^-; x_i^+] & (x_i \in [x_i^1; x_i^2; \dots; x_i^m]) \end{cases} \quad (1)$$

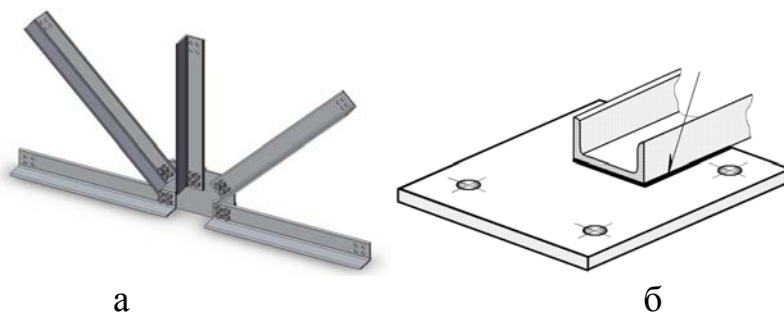
Здесь $\bar{x}$ – вектор варьируемых параметров (ВП); l_i и $A_i(\bar{x})$ – длина и площадь сечения i -го стержневого КЭ; t – время; $\sigma(\bar{x}, t)$ – текущее напряжение в КЭ; $\sigma^*(\bar{x}, t)$ – критическое напряжение потери устойчивости (для сжатых стержневых элементов); R – расчётное сопротивление; $f(\bar{x}, t)$ и $[f]$ – текущее и предельное значения узлового перемещения; N_1 – количество КЭ в конечно-элементной модели (КЭМ) конструкции; K – множество КЭ, в которых возможна потеря устойчивости (множество сжатых стержней); N – множество узлов, в которых проверяется условие жёсткости; x_i^+ , x_i^- – верхняя и нижняя границы изменения i -го ВП; $x_i^1; x_i^2; \dots; x_i^m$ – дискретные значения i -го ВП для дискретной постановки задачи оптимального проектирования конструкций (ОПК), m – количество возможных значений ВП.

В обобщённой постановке (1) вид критерия оптимальности не влияет на функции ограничений, обеспечивающих несущую способность конструкции в процессе её эксплуатации.

3. Постановка задачи оптимизации фермы с учётом локальной коррозии в местах соединения стержней

В постановке (1) принималось допущение о том, что коррозионный процесс в местах соединения стержневых элементов происходит так же, как и во всей конструкции в целом. Однако, соединения стержневых элементов могут осуществляться различными способами. Например, один из вариантов крепления узла фермы – стержень с помощью болтовых соединений крепится непосредственно к пластине (рис. 1а). Другим технологическим решением является вариант, когда стержни крепятся между собой через накладку (рис. 1б).

В качестве таких соединительных накладок используются плосконапряжённые пластинчатые элементы, ослабленные соединительными круговыми отверстиями и сварными швами.



а
б
Рис. 1. Варианты крепления элементов стержневых конструкций

Для различных случаев конструктивных решений следует учитывать или концентраторы напряжений в окрестности отверстий, или концентраторы коррозии вблизи сварных швов, или и то и другое одновременно. Следовательно, конструктивные

решения соединений отдельных элементов конструкции объективно обуславливают отличие коррозионного процесса в стержне в целом от участков стержня в окрестности его соединения. Вне зависимости от конструктивных решений участок стержня в месте его соединения с другим стержнем или соединительным элементом может рассматриваться как фрагмент плосконапряжённой пластины (ПНП), ослабленный отверстиями для крепёжных элементов. Тогда разрушение конструкции может произойти не в каком-либо стержне в целом, а в месте его соединения, вследствие разрыва связей между элементами. Задача определения ресурса таких соединений приобретает самостоятельное значение, и для её решения необходим подход, который, очевидно, будет существенно отличаться от того, который был применён для стержневых КЭ в целом.

В данной работе предлагается рассмотреть постановку задачи оптимального проектирования для случая как общей, так и локальной коррозии, которая возникает в местах соединения отдельных её элементов. В этом случае к существующей системе ограничений необходимо добавить ограничения по прочности в зоне соединения стержня. Тогда постановка задачи оптимизации многоэлементной стержневой конструкции с учётом локальной коррозии в общем случае будет иметь вид:

$$\begin{cases} V = \sum_{i=1}^{N_1} l_i A_i(\bar{x}) \rightarrow \min \\ g_1 : R - \sigma_i(\bar{x}, t) \geq 0, & i = \overline{1, N_1} \\ g_2 : R - \sigma_j(\bar{x}, t) \geq 0, & j = \overline{1, N_2} \\ g_3 : \sigma_k^*(\bar{x}, t) - \sigma_k(\bar{x}, t) \geq 0, & k \in K \\ g_4 : [f] - f_n(\bar{x}, t) \geq 0, & n \in N \\ g_5 : x_i \in [x_i^-; x_i^+] & (x_i \in [x_i^1; x_i^2; \dots; x_i^m]) \end{cases} \quad (2)$$

Здесь N_1 – количество стержневых элементов в КЭМ конструкции; N_2 – количество элементов в КЭМ плосконапряжённой конструкции. Здесь и далее предлагается несколько элементов объединять в группы на основании геометрической принадлежности стержней так, чтобы в качестве ВП выступали характеристики групп элементов. Это позволит уменьшить число ВП.

В зависимости от конструктивных решений соединения стержней, целевая функция в приведенной постановке (2) может несколько изменяться. Например, включать в себя помимо массы стержней, массу соединительных пластин.

В качестве ВП пластинчатых элементов принимается их толщина. Система ограничений оптимизационной задачи (2) включает в себя ограничения как для стержня в целом: по прочности g_1 , устойчивости g_3 , жёсткости g_4 , а также конструктивные ограничения g_5 (границы изменения ВП); так и ограничения для фрагментов стержней в местах их соединения: по прочности g_2 и конструктивные ограничения g_5 . Ограничение g_2 , таким образом, учитывает коррозию в местах соединения стержней, что и определяет основное отличие данной работы.

Внутренние усилия стержневых элементов будут зависеть от соотношения

их жёсткостей, то есть от значений ВП. Значит, поставленная задача является связанной: необходимо знать значения нагрузок в местах соединения элементов, а это предполагает вычисление значений внутренних усилий в оптимизируемой корродирующей конструкции, в общем случае непостоянной во времени.

Предлагается сначала решить задачу математического программирования без учёта ограничения g_2 , то есть рассмотреть постановку без учёта коррозионных процессов в узлах соединения стержневых элементов. Затем, зная величины и характер изменения внутренних усилий в стержнях, с учётом ограничения g_2 усилить фрагменты стержней в местах их соединения таким образом, чтобы обеспечить работу конструкции, то есть, чтобы их долговечность была не меньше долговечности стержневых элементов в целом. Обоснование применения именно такой расчётной схемы будет приведено ниже.

Основным отличием данной задачи является то, что модель коррозии включает в себя две расчётные схемы: расчётную схему стержневой системы и расчётную схему плосконапряжённой пластины. Информация, необходимая для исследования поведения стержня в месте его соединения с другими элементами с помощью расчётной схемы пластины, может быть получена только из расчёта напряжённо-деформированного состояния (НДС) стержневой системы. Таким образом, эти две расчётные схемы связаны. При этом расчёт долговечности ПНП с переменной во времени и по области толщиной представляет собой задачу, значительно более сложную с вычислительной точки зрения, чем расчёт фермы. Эта особенность существенно усложняет решение задачи оптимизации, так как существуют и другие особенности, характеризующие задачи оптимизации конструкций такого класса, а именно:

1. Вычисление функций ограничений предполагает определение параметров конструкции в произвольный момент времени, что обуславливает необходимость численного решения систем дифференциальных уравнений (СДУ), описывающих коррозионный процесс в элементах конструкции, на каждой итерации решения задачи НЛП.

2. В связи с этим, временные затраты на вычисление функций ограничений несопоставимо больше затрат на вычисление целевой функции. Вычисление функций ограничений в задачах такого класса подразумевает определение НДС конструкции в какой-либо момент времени (или определение долговечности конструкции) на каждом шаге поиска оптимального проекта. Так как задачи расчёта НДС и СДУ решаются численно, а параметры численных процедур остаются неизменными в процессе решения оптимизационной задачи, особое значение принимает проблема контроля погрешности функций ограничений.

3. Функции ограничений дифференцируемы не во всей области поиска оптимального решения. Поэтому применение градиентных методов решения задач НЛП в данном случае затруднительно. Использование же поисковых методов приводит к значительным вычислительным затратам. С учётом сложности вычисления функций ограничений проблема эффективности при решении оптимизационных задач становится весьма актуальной.

Перечисленные особенности, очевидно, требуют адаптации существующих подходов решения задач НЛП. Степень адаптации будет определяться теми

проблемами, которые объективно следуют из постановки задачи ОПК.

4. Анализ проблемных аспектов задачи оптимального проектирования стержневых конструкций с учётом локальной коррозии, вызванных наличием двух расчётных схем

Предложенная постановка задачи (2), обусловленная появлением второй расчётной схемы, объективно приводит к необходимости адаптации численных методов решения задачи НЛП. Очевидно, что без детального анализа этих проблем невозможно предложить эффективную и надёжную методику решения задачи в целом. Далее эти проблемы рассмотрены более детально.

Предлагается анализ проблемных аспектов задачи, вызванных, в первую очередь, появлением второй расчётной схемы, обусловленной условиями закрепления.

В случае, когда решается оптимизационная задача для корродирующих конструкций, которая позволяет определить оптимальные параметры системы при заданном наборе входных данных, принимается двухконтурная модель, которая имеет вид, приведенный на рис. 2.

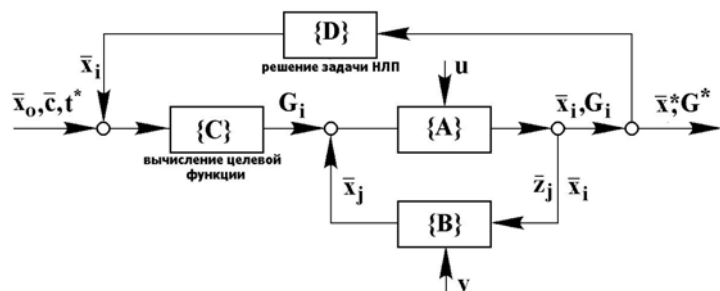


Рис. 2. Схема решения задачи оптимизации без учёта локальной коррозии

Здесь приняты следующие обозначения: {A} – блок решения задачи НДС; {B} – блок решения СДУ, описывающих процесс накопления геометрических повреждений; {C} – блок вычисления целевой функции; {D} – блок решения задачи НЛП.

При решении задач НДС и долговечности корродирующих конструкций традиционно применяется подход, основанный на совместном использовании какого-либо численного метода расчета НДС (блок {A}) и численного же метода решения задачи Коши для СДУ, описывающих процесс накопления повреждений (блок {B}). При решении оптимизационной задачи внутренний контур, включающий в себя блоки {A} и {B}, представляет собой модуль вычисления функций ограничений.

В случае же, когда задача ОПК формулируется в постановке (2), схема решения, как и её реализация, существенно усложняются. Необходимость учёта локальной коррозии приводит к необходимости ввода в расчётную схему дополнительных блоков {A_i} и {B_i} (рис. 3), имеющих тот же смысл, что и блоки {A} и {B}, количество которых определяется конкретной постановкой задачи.

Вследствие того, что на каждом шаге поиска оптимального проекта функции ограничений вычисляются как для стержневых (блоки {A} и {B}), так и для плосконапряжённых (блоки {A_i} и {B_i}) корродирующих элементов, происходит значительное увеличение числа итераций при решении СДУ. Следовательно, общая погрешность вычисления функций ограничений в этом случае становится ещё менее предсказуемой.

Кроме того, если ранее при решении задач ОПК в постановке (1) изменялись

только значения вектора геометрических характеристик, то при использовании постановки (2) будет переопределяться и вектор локальных нагрузок вследствие изменения жёсткостей элементов. Таким образом, между вычислением функций ограничений

стержневых и плосконапряжённых элементов существует связь. Вычислительные затраты при этом будут значительно большими, чем при решении таких задач, но без учёта локальной коррозии.

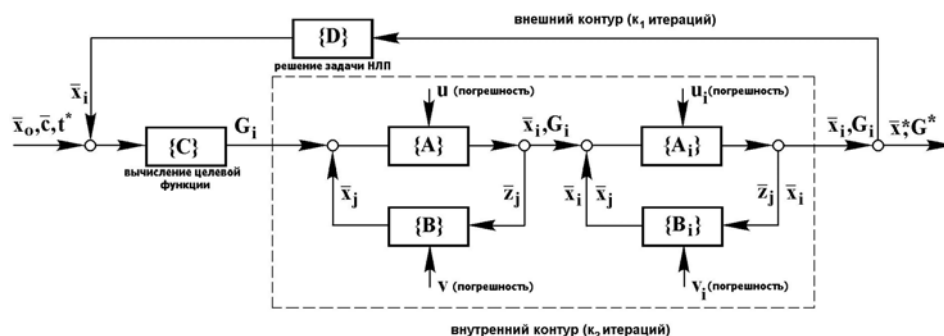


Рис. 3. Схема решения задачи оптимизации с учётом локальной коррозии

При расчёте стержневых конструкций использование метода конечных элементов (МКЭ) представляется желательным и удачным, но необязательным, так как его можно осуществить, например, методом сил или перемещений. В случае же расчёта ПНП применение МКЭ представляется наиболее целесообразным в силу разработанности метода, возможностей его реализации на ЭВМ. Проблема построения адекватной КЭМ для ПНП, моделирующих фрагменты стержневой конструкции в местах соединения их элементов в настоящее время далека от своего разрешения. При исследовании стержневых конструкций число параметров однозначно определяющих геометрические характеристики системы в произвольный момент времени является конечным и равно числу КЭ. Корродирующая же пластина, ослабленная отверстиями, имеющая постоянную толщину в начальный момент времени, по прошествии некоторого времени становится пластиной переменной толщины, а так как закон распределения напряжений неизвестен, то число параметров, характеризующих её толщину в окрестности концентраторов напряжений, неограниченно возрастает. В связи с этим, размерность задачи МКЭ в этом случае становится на порядок выше аналогичной при расчёте только одной стержневой конструкции. Таким образом, становится очевидной проблема ограничения количества этих параметров без потери точности решения задачи.

В известных алгоритмах, использующих МКЭ при исследовании корродирующих пластин, предполагалось, что напряжения, вычисленные в центре тяжести КЭ, постоянны по его области [5]. Из этого следует, что постоянной по области КЭ будет и его толщина. Подобное допущение приводит с течением времени к разрывам толщин на границах КЭ и к искажению действительной картины НДС. Именно потому, что в задачах такого класса КЭ служат и для описания коррозионного процесса, их число в КЭМ значительно больше, чем в том случае, когда влияние агрессивной среды не учитывается. Поэтому представляется проблематичным непосредственное использование известных КЭ, прекрасно зарекомендовавших себя при решении многих сложных задач. Погрешность решения поставленной задачи в большинстве случаев

определяется ещё и проблемой построения адекватной КЭМ.

Снижение размерности задачи МКЭ может быть достигнуто за счёт увеличения порядка аппроксимации функции толщины. Для этой цели предлагается использовать модифицированные КЭ переменной толщины [6].

В зависимости от типа сечения стержня и конструктивных решений креплений (количество и способ расположения отверстий, наличие сварных швов и т.п.) в рамках одной и той же задачи оптимизации может быть реализовано несколько различных вариантов расчётных схем ПНП. Расчёт мест соединения стержневых элементов невозможен без определения усилий в стержне в целом, то есть без предварительного расчёта стержневых конструкций.

Для всех случаев, встречающихся на практике, решение задач расчёта НДС и долговечности ПНП во внутреннем контуре (при вычислении функций ограничений задачи (2)) не представляется возможным, прежде всего из-за многообразия конструктивных решений соединений стержней.

В связи с этим предлагается переход к двухэтапной схеме решения задачи оптимизации. На первом этапе определяются оптимальные параметры для стержней, значения внутренних усилий в них и закон их изменения. На втором этапе, на основе полученных данных, в зависимости от принятых конструктивных решений осуществляется расчёт стержней в местах их соединения и выбор рациональных параметров, обеспечивающих работу конструкции в целом для заданного срока долговечности. Следовательно, предлагается поставленную задачу разбить на две – задачу расчёта оптимального проекта самой фермы, а затем обеспечение полученной долговечности мест соединений. При оптимальном проектировании эти участки должны обеспечивать выполнение функций ограничений, а значит и заданную долговечность.

Тогда

модифицированная схема решения задачи ОПК с учётом коррозии в местах соединения будет иметь вид, представленный на рис. 4.

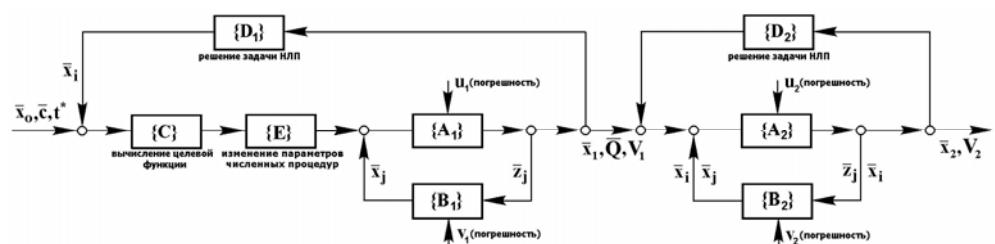


Рис. 4. Двухэтапная схема решения задачи оптимизации с учётом локальной коррозии

Здесь в первом контуре (блоки $\{A_1\}$, $\{B_1\}$, $\{C\}$, $\{D_1\}$, $\{E\}$) решается задача оптимизации для стержневых элементов конструкции в целом, во втором контуре ($\{A_2\}$, $\{B_2\}$, $\{D_2\}$) – задача одномерной оптимизации мест соединений с использованием расчётной схемы ПНП. Блоки $\{A_2\}$ и $\{B_2\}$ должны обеспечивать долговечность соединений и, по возможности, минимизировать их общую массу. Выходными данными после расчёта оптимального проекта для стержневых элементов являются их суммарный объём V_1 при заданной долговечности t^* , а также значения усилий, передаваемых на соединительные элементы. Накладки должны обеспечивать то же значение долговечности, и при этом значение их суммарного объёма V_2 должно быть минимальным. Если в первом контуре

значение долговечности зависит от многих параметров конструкции, то во втором – только от начальной толщины пластины $t^*(h)$. Таким образом, решение задачи во втором контуре сводится к одномерной оптимизации при задании последовательного набора значений толщины пластины: $h_1, h_2, \dots, h_n$. В случае, если ставится условие дискретного изменения значений толщины, то их выбирают исходя из известных типоразмеров толщин катаных листов. Итак, если в первом контуре приоритетное значение имеет объём конструкции, то во втором – на первом месте обеспечение долговечности мест соединений, а значит и всей конструкции в целом.

5. Основные результаты и выводы

В данной работе предложена обобщённая постановка задачи оптимизации корродирующих конструкций в виде задачи НЛП, включающая в себя две расчётные схемы: стержневой конструкции и плосконапряжённого элемента. Последняя позволяет учесть влияние концентраторов напряжений и коррозии вблизи отверстий и сварных швов. В качестве ограничений оптимизационной задачи рассматриваются ограничения по прочности и устойчивости, конструктивные ограничения, а также ограничения на напряжения в местах соединения стержней. В качестве критерия оптимальности принимается минимум объёма конструкции при заданном сроке её эксплуатации; в качестве варьируемых параметров – геометрические размеры сечений элементов, которые изменяют свои значения с течением времени.

На основании анализа целевой функции и функции ограничений выделены основные особенности задач оптимального проектирования корродирующих конструкций, вызванные необходимостью учёта влияния напряжений на скорость коррозии. Это обуславливает появление обратной связи в моделях расчёта и определяет основные отличия задач такого класса.

Для решения задачи с учётом локальной коррозии предложена и обоснована двухэтапная схема оптимизации. Она предполагает последовательную оптимизацию стержневой конструкции с последующей оптимизацией фрагментов стержней в местах соединений. При этом используется полученная на первом этапе информация о величинах и законах изменения усилий в стержнях оптимальной конструкции.

Список литературы: 1. Колесник И.А. Моделирование коррозионных процессов в стержнях при растяжении и сжатии / И.А. Колесник, Д.Г. Зеленцов, Ю.А. Храпач // Системні технології. [Регіональний міжвузівський збірник наукових праць]. – 2000. – Вип. 1 (9). – С. 49–55. 2. Почтман Ю.М. Оптимальное проектирование стержневых систем, взаимодействующих с агрессивными средами, на основе метода конечных элементов / Почтман Ю.М., Алексеенко Б.Г., Зеленцов Д.Г. // Сопротивление материалов и теория сооружений. – 1991. – № 59. – С. 72–76. 3. Храпач Ю.А. Напряжённо-деформированное состояние и долговечность многоэлементных стержневых конструкций с учётом воздействия агрессивных сред: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.17 / Храпач Юлия Александровна – К., 2003. – 137 с. 4. Химмельблау Д. Прикладное нелинейное программирование / Д. Химмельблау; пер с англ. И.М. Быховской и Б.Т. Вавилова, под ред. М.Л. Быховской. – М.: Мир, 1975. – 534 с. 5. Фридман М.М. Концептуальні підходи при оптимальному проектуванні конструкцій, що функціонують в екстремальних умовах. / Фридман М.М. // Опір матеріалів і теорія споруд. – 2002. – № 70. – С. 158–175. 6. Зеленцов Д.Г. Модифицированный треугольный конечный элемент переменной

УДК 62-82

И.В.СМОРОДСКАЯ, канд. техн. наук, ассист., НТУ «ХПИ», Харьков,
Н.В.ГОРБАТЮК, канд. техн. наук, зав. сект. ПАО «Турбогаз»

ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНОГО СХЕМНОГО РЕШЕНИЯ СИСТЕМЫ ПРИВОДОВ

Розглянуто питання вибору раціональної схемної побудови систем приводів за критерієм надійність-вартість.

Рассмотрен вопрос выбора рационального схемного построения систем приводов по критерию надежность - стоимость.

The question is considered of selection of rational diagram of building drivers systems basing on “cost-reliability” criterion.

Введение. Синтез схемного решения любой системы приводов является наиболее ответственным моментом в процессе их разработки. Основу оценки соответствия системы заданным требованиям составляет анализ функциональной надежности. Алгоритмы и методы его проведения достаточно полно освещены в литературе [1, 2, 3]. Проблемной в этом направлении является выбор оптимального профиля системы приводов [4, 5], поскольку таких методик пригодных для производственной практики практически нет.

В настоящей работе ставится задача разработать процедуру выбора, на базе функционального анализа надежности систем приводов, рационального схемного их решения по критерию надежность - стоимость.

Для анализа схемной надежности возможных вариантов структуры проектируемых систем приводов используется программное средство “Schemes” [6]. В нем реализованы, получившие в производственной практике наибольшее распространение, три метода расчета надежности [7, 8]: структурных и логических схем, табличный (рис. 1).

Выбор оптимального по критерию надежности варианта построения системы привода осуществляется из решения задачи

$$X = \arg \max_{X \in \Omega} K_6, \quad (1)$$

где X – вектор параметров (T_0 , C); T_0 – показатель надежности (средняя наработка на отказ); C – стоимость; Ω – допустимое пространство параметров (T_0 , C), определяемое условиями:

$C \leq C_{\text{доп}}$ – допустимая по требованию заказчика стоимость;

$T_0 \geq T_0^{\text{доп}}$ – допустимое значение средней наработки на отказ;

$K_6 = \bar{T}_0 / \bar{C}$ – коэффициент относительного эффекта;

$\bar{T}_0 = T_0 / T_0^1$ – относительная норма безотказности;

T_0^1 – значение средней наработки на отказ аналога или исходного варианта привода; $\bar{C} = C / C^1$ – относительная норма стоимости; C^1 – стоимость аналога

или исходного варианта привода. Окончательное формирование профиля системы привода осуществляется на основании сравнительного анализа лучших вариантов по критерию надежности с учетом уровня показателей назначения, массо-габаритных и других характеристиках качества.

Рассмотрим вышеизложенный подход на примере разработки мобильного гидропривода, схема которого приведенного на рис. 2. Конструктивно гидропривод состоит из трех основных функциональных узлов: насосной станции, состоящей из электродвигателя и основного насоса, резервного ручного насоса и головки управления, включающей компенсационно – поддавливающее устройство, силовой цилиндр со штоком, золотник переключения, клапан кольцевания, обратные клапаны. В расчет-ной схеме варьировался облик насосной станции (табл. 1).

Результаты определения вероятности отказа за один час Q для рассматриваемых вариантов исполнения привода с использованием прог-раммного средства “Schemes” приведены в табл. 2, а решения задачи (1) систематизированы в табл. 3. В качестве ограничений по требованию

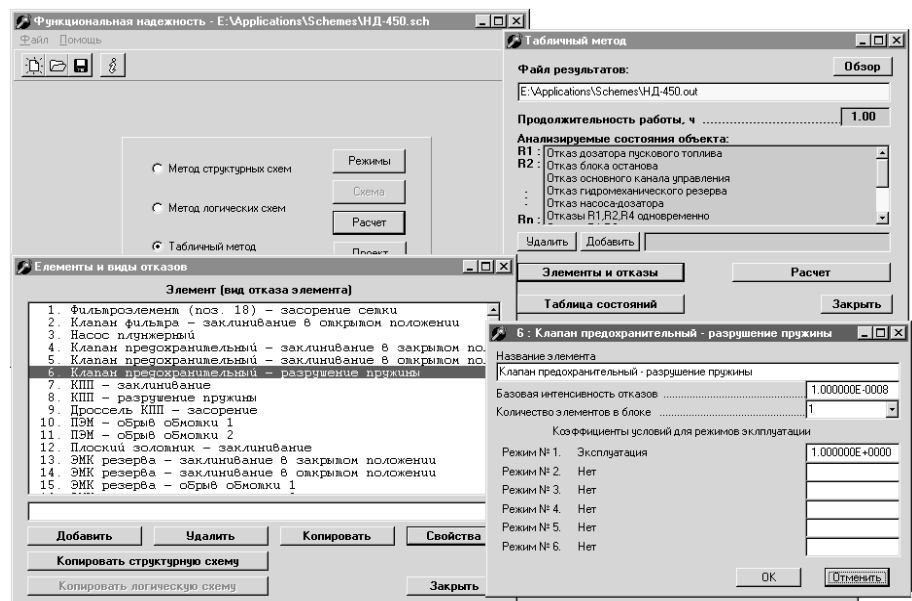


Рис.1. Формы программы Schemes

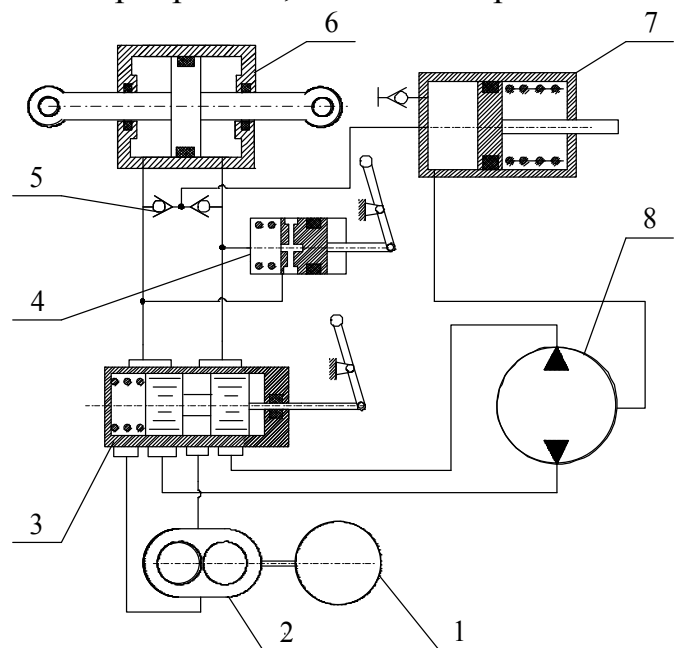


Рис. 2. Принципиальная гидравлическая схема привода: 1 – электродвигатель; 2 – насос основной; 3 – золотник переключателя режимов работы; 4 – клапан кольцевания; 5 – клапан обратный; 6 – силовой цилиндр; 7 – компенсационно – поддавливающее устройство; 8 – насос резервный

заказчика принимались: допустимая стоимость гидропривода $C_{\text{доп}} = 6000$ у.е.; допустимая средняя наработка на отказ $T_0^{\text{доп}} = 0,5 \cdot 10^5$ ч.

Из приведенных материалов следует, что в качестве оптимального по критерию надежности следует принять третий вариант исполнения привода. Реализованный в нем набор мероприятий по повышению безотказности относительно базового исходного уровня дал наибольший относительный прирост надежности для привода.

Таблица 1- Интенсивности отказов основных элементов приводов

Наименование		Интенсивность отказов, $\lambda_i \cdot 10^6$, 1/ч
Электродвигатели постоянного тока	Вентильный	3,1
	Коллекторный (ротор с обмотками)	10
	Коллекторный (ротор с постоянными магнитами)	4,83
Насосы	Шестеренный	12,5
	Героторный	10
	Аксиально-поршневой	3,33
Головка управления		1,55
Насос ручной		5

Таблица 2- Вероятности отказов приводов

Номер варианта	1	2	3	4
Насос	Шестеренный	Героторный	Аксиально- плунжерный	Аксиально- плунжерный
Электро- двигатель	Ротор с обмотками	Ротор с постоянными магнитами	Ротор с постоянными магнитами	Вентильный
$Q \cdot 10^{-6}$, 1/ч	24,40	16,73	10,10	8,30

Таблица 3- Значения коэффициента относительного эффекта

Вариант	1	2	3	4
$C \cdot 10^{-3}$, у.е.	3,175	3,495	5,425	7,375
$T_0 \cdot 10^{-5}$, ч	0,41	0,61	0,99	1,19
$\bar{C}$	1	1,10	1,71	2,32
$\bar{T}_0$	1	1,46	2,41	2,90
K_6	1	1,33	1,41	1,25

Данная технология анализа функциональной надежности использована при разработке ряда мобильных гидроагрегатов и приводов [9-10]. Ее эффективность подтверждена результатами стендовых испытаний выбранных вариантов, а

также подконтрольной эксплуатации в составе объектов (Ан-140, Ан-124, Ан-148 и др).

Таким образом, выбор рационального схемного решения систем приводов целесообразно осуществлять по критерию надежности, в качестве которого предложен коэффициент относительного эффекта, связывающий нормы надежности и стоимости.

Список литературы: 1. Величурский Г.А. Аппаратно – программные методы анализа надежности структурно – сложных систем. – Минск: Наука и техника, 1986. – 126 с. 2. Нечипоренко В.И. Структурный анализ и методы построения надежных систем. – М.: Сов. радио, 1968. 201 с. 3. Черкесов Г.Н., Можжаев А.С. Логико-вероятностные методы расчета надежности структурно-сложных систем. – М.: Знание, 1991. – 104 с. 4. ГОСТ 27.003-90. Надежность в технике. Состав и общие правила задания требований по надежности.– М.: Изд-во стандартов, 1981. – 27 с. 5. С.И. Беленький, А.Б. Самохин. Оптимизация анализа надежности оборудования // Вестник машиностроения. – 1977. - №8. – С. 42 – 43. 6. Горбатюк Н.В. Автоматизация оценки функциональной надежности технических систем // Інтегровані технології та енергозбереження. – 2002. – №4. – С. 72- 75. 7. Рябинин И.А., Черкесов Г.Н. Логико-вероятностные методы исследования надежности структурно-сложных систем. - М.: Радио и связь, 1981. – 264 с. 8. Надежность гидравлических систем воздушных судов / Т. М. Баишта, Ю.С. Головкин, А.А. Комаров, Г.И. Зайончковский и др.; Под ред. Т.М. Баишты.- М.: Транспорт, 1986.- 279 с. 9. Горбатюк Н.В. Компьютерный анализ безотказности гидромеханической части САУ ГТД // Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства. – Вип. 18. - 2002. – С. 147 –152. 10. Горбатюк Н.В. Методика поэтапной оптимизации надежности систем приводов // Механіка та машинобудування. – Харків, 2006. - №1. – С. 29-39.

Поступила в редколлегию 09.06.2012

УДК 621.65

О.А. МАТВИЄНКО, асп., СумДУ, Суми

ДОСЛІДЖЕННЯ МІЦНОСТІ ЛОПАСТІ ОСЬОВОГО РОБОЧОГО КОЛЕСА ЗАГЛИБНОГО СВЕРДЛОВИННОГО НАСОСА

В статті аналізується можливість підвищення параметрів малогабаритного осьового ступеню свердловинного насоса за рахунок вибору оптимальної товщини та форми профілю лопаті. Дослідження проводилося за допомогою чисельного моделювання потоку в каналах проточної частини. Отримано напірні та енергетичні характеристики, проведено перевірочний розрахунок лопатей на міцність.

В статье анализируется возможность повышения параметров малогабаритной осевой ступени скважинного насоса за счет выбора оптимальной толщины и формы профиля лопасти. Исследование проводилось с помощью численного моделирования потока в каналах проточной части. Получены напорные и энергетические характеристики, проведен проверочный расчет лопастей на прочность.

The article analyzes possibility of the small-sized axial-flow stage of borehole submersible pump improvement by changing thickness and form of airfoil. Investigations have been performed by numerical simulation of flow in the flow part. Head and efficiency characteristics were received performed test calculations on the strength of the blades.

Вступ. Для створення нових ефективних систем артезіанського водопостачання на кафедрі прикладної гідроаеромеханіки Сумського державного університету було розпочато розробку нового типу заглибних свердловинних насосів, які базуються на малогабаритних осьових ступенях низької швидкохідності [1, 2, 3]. При проектуванні зазначених ступенів одним з вирішальних питань є обґрунтований вибір товщини профілю лопаті та її вплив на характеристики ступеню.

Постановка проблеми. Як відомо [4, 5], в ідеальному випадку для створення заданого кута повороту потоку, а, значить, і напору, робоче колесо осьового насоса повинно було б мати нескінченне число нескінченно тонких лопатей. В реальному насосі дане припущення не може бути реалізованим, бо число лопатей обмежене, і вони мають певну товщину (так звану тілесність), яка визначається передусім вимогами міцності.

Вплив кінцевого числа лопатей та наявність тілесності профілів граток призводить до появи додаткових гідравлічних втрат і враховується при розрахунку параметрів лопатевих систем (наприклад поправка К. Пфлейдерера на кінцеве число лопатей [5] та графік для визначення поправки на тілесність [4]). І якщо для осьових насосів типових схем з швидкохідністю $n_s=600\ldots1000$ дані втрати не є визначальними, то для малогабаритних осьових ступенів низької швидкохідності (табл. 1), розроблених для застосування в свердловинних насосах [3], ситуація принципово інша. Зазначені ступені [2, 3, 6] характеризуються високими втулковими відношеннями, і, відповідно, короткими лопатями, що встановлені під відносно великими кутами до осі ступеню. Крім того, для отримання максимального напору та зменшення металоємності насоса лопаті мають значно більші від зазвичай застосованих в осьових насосах кути згину лопатей при відносно малих осьових довжинах колеса та великих кутах розкриття міжлопатєвого каналу. У результаті втрати, пов'язані з товщиною профілів різко збільшують свій вплив на його загальний енергетичний баланс.

Таблиця 1- Основні параметри досліджуваного ступеню

Коефіцієнт подачі, K_Q	Коефіцієнт напору, K_H	Коефіцієнт швидкохідності, n_s	Частота обертання, об/хв	Умовний габарит свердловини, дюймів
0,185	0,249	267	2900	10

Відповідно у даному ступеню необхідним виявилось проведення додаткового дослідження, спрямованого на пошук можливих шляхів зменшення зазначених втрат. Одним з очевидних напрямів їх зниження є застосування профілів лопаті робочого колеса меншої відносної товщини, що прямо суперечить вимогам забезпечення міцності при дії нестационарних гідродинамічних сил. Аналіз можливих шляхів забезпечення міцності лопаті малогабаритного осьового робочого колеса низької швидкохідності власне і є предметом розгляду даної статті.

Аналіз досліджень і публікацій. Огляд літературних джерел показав, що одним з можливих рішень даної проблеми є використання бандажного кільця [7,

8, 9]. В турбінах сучасних авіаційних газотурбінних двигунів з метою підвищення їх вібраційної надійності широко використовують робочі лопатки з бандажними полицями [7]. Крім того, таке конструктивне рішення значно зменшує перетікання через радіальний зазор між лопаттю робочого колеса та корпусом турбіни, що в свою чергу підвищує ККД, хоча і призводить до підвищення масогабаритних показників та погіршенню аеродинамічних якостей.

Не менш поширеним є використання бандажних кілець і в компресоробудуванні [8]. Їх використання дозволяє підвищити жорсткість лопаток, а в разі обриву лопатки виключити вихід уламку з зони робочого колеса, уникнути дисбалансу колеса, а також забезпечити гарну ремонтпридатність лопатки.

Усе вищезгадане з деякими обмеженнями можливо застосувати і до робочих коліс осьових насосів, для яких за даними автора [9] бандаж збільшує кавітаційний запас шляхом усунення щільної кавітації, але одночасно може призвести до збільшення затрат потужності на механічне тертя бандажу об робочу рідину.

Іншим можливим шляхом вирішення зазначеної проблеми є заміна профілів лопаті на ті, що забезпечують більш сприятливий розподіл товщини профілю вздовж його хорди. Після аналізу даних, відомих з літературних джерел, для подальших досліджень було обрано два профілі, так званий тип НАСА та тип ВІГМ. Профіль типу НАСА введений у використання Американським національним комітетом з аеронавтики (National Advisory Committee for Aeronautics), форма даного профілю описується формулою [10]:

$$y = \frac{t}{0.2} c \left[0.2969 \sqrt{\frac{x}{c}} - 0.1260 \left(\frac{x}{c} \right) - 0.3516 \left(\frac{x}{c} \right)^2 + 0.2843 \left(\frac{x}{c} \right)^3 - 0.1015 \left(\frac{x}{c} \right)^4 \right],$$

де c – довжина хорди;

x – координата вздовж хорди від 0 до c ;

y – половини товщини профілю на заданій координаті x ;

t – максимальна товщина в долях хорди.

Другий – профіль розроблений у Всесоюзному науково-дослідному інституті гідромашинобудування (ВІГМ) [11].

Таким чином, на основі проведеного аналізу літератури було спроектовано три робочі колеса (РК). Перше робоче колесо (РК №1) було таким же, як і базове [12], за виключенням того, що мало бандажне кільце товщиною 3 мм, а його осьова довжина була рівна осьові й довжині лопатей робочого колеса. Профільювання лопатей РК №2 було виконано у відповідності до даних профілю типу ВІГМ, а РК №3 – до типу НАСА.

Методика проведення дослідження. Дослідження проводилося за допомогою чисельного моделювання в університетській версії програмного продукту ANSYS CFX. Для коректного моделювання умов роботи проміжного ступеню насоса використовувалась багатозв'язна розрахункова область, яка складалася з вхідного елемента, трьох робочих коліс та статорних апаратів, а також вихідного елемента. Всі результати були отримані для середнього з трьох ступенів.

Розрахункова сітка (рис. 5) була створена у компоненті програмного комплексу ANSYS, і нараховувала приблизно по 0,8 млн. призматичних комірок

у робочих колесах та по 0,6 млн. у статорних апаратах. Для належного опису граничних шарів поблизу твердих стінок густину сітки було збільшено.

Величина змінної Y^+ знаходилася в межах від 10 до 100 одиниць, що відповідає рекомендаціям, приведеним в посібнику користувача [13].

Розрахунок у вказаному програмному продукті виконувався шляхом чисельного розв'язання системи рівнянь (1), котрі описують найбільш загальний випадок руху рідкого середовища - рівнянь Нав'є-Стокса та нерозривності.

$$\begin{cases} \vec{F} - \frac{1}{\rho} \text{grad}(p) + \nu \nabla^2 \vec{v} = \frac{d\vec{v}}{dt} \\ \frac{d\rho}{dt} + \text{div}(\rho \vec{v}) = 0 \end{cases} \quad (1)$$

Густина рідини при розрахунку була прийнятою за постійну величину. Моделювання турбулентних течій здійснювалося за допомогою системи рівнянь Рейнольдса, для замикання котрих використовувалася стандартна к-ε модель турбулентності.

Основні результати дослідження. В результаті виконання чисельного моделювання було отримано напірні та енергетичні характеристики (рис. 1 б, в, г) для трьох ступенів, що базувалися на вище перерахованих робочих колесах. Конструкція і параметри лопатевої ґратки статорного апарату при цьому залишалися незмінними.

Як видно з рис.1, ступінь з бандажним кільцем (РК №1) має найбільше значення ККД серед усіх досліджуваних ступенів.

Як зазначалося вище, це пояснюється значним зменшенням об'єму перетікань через радіальний зазор між корпусом ступеню та робочим колесом. Проте наявність бандажного кільця призвела до вагомого зменшення напору ступеню, що в нашому випадку є негативним явищем, бо напір ступеню, як і його

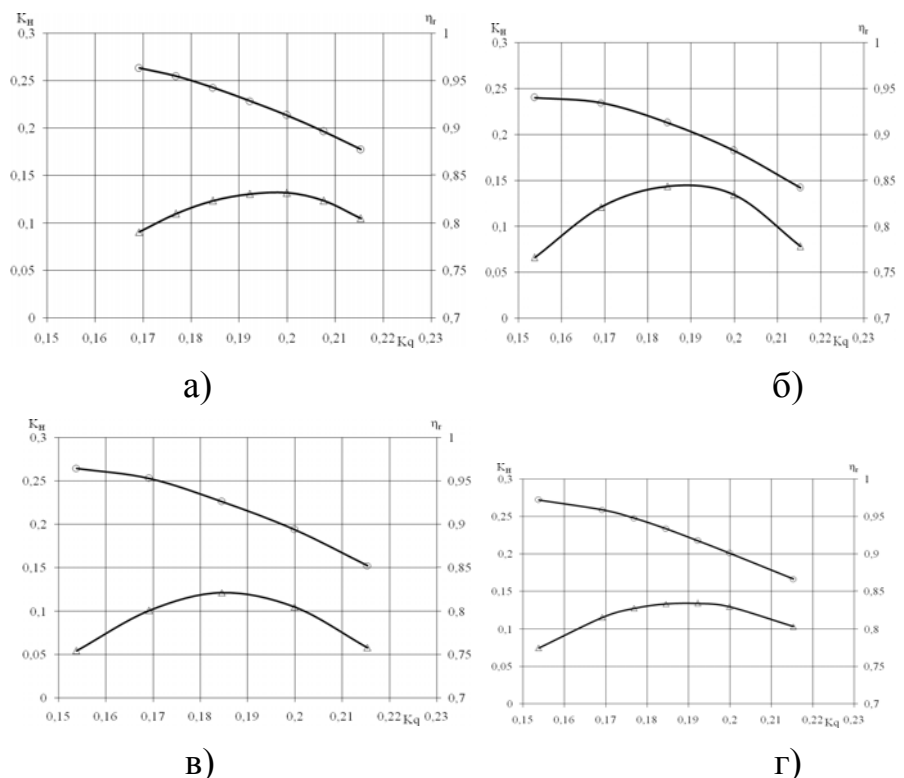


Рис. 1. Характеристика малогабаритного осьового ступеню, отримана шляхом чисельного моделювання: а) для базового РК, б) для РК №1, в) для РК №2, г) для РК №3

ККД, є основними лімітуючими факторами при проектуванні. Крім того, з характеристики ступеню видно, що зона оптимальних значень змістилася вліво в порівнянні з базовим ступенем.

На рис. 1в представлено характеристику ступеню, що базується на робочому колесі №2. Як бачимо, значення його напору є найбільшим серед усіх досліджуваних ступенів, проте значення ККД – найменшим. Форма енергетичною кривої даного ступеню має найбільшу кривизну, що значно зменшує його робочий діапазон. Крім того зона оптимальних значень зміщена вліво ще більше, ніж у попередньому випадку.

Щодо останньої характеристики, що представлена на рис. 1г, на наш погляд вона є найбільш прийнятною у нашому випадку. Не зважаючи на зміщення зони оптимальних значень (яке є найменшим з усіх досліджуваних ступенів), було отримано гарні напірну та енергетичну характеристики. При цьому крива енергетичної характеристики з усіх ступенів має найбільш пологий характер, що збільшує його робочий діапазон.

Відсоткові співвідношення параметрів досліджуваних ступенів в порівнянні з базовим приведено в табл. 2.

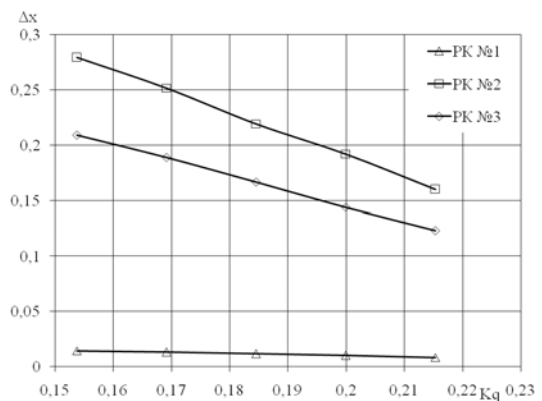


Рис. 2. Графік відносних зміщень для трьох досліджуваних робочих коліс

Таблиця 2- Порівняння результатів чисельного моделювання

	РК №1	РК №2	РК №3
K_Q	-5%	-7,5%	-4%
K_H	-6,5%	+5,6%	+3,7%
η , %	+1,33	-1,2%	+0,5%

В результаті проведення перевірного розрахунку лопатей робочих коліс на міцність[14] було встановлено, що РК №2 має проблемну зону в області вихідної кромки, що може спричинити руйнування лопатей. Подібні результати були отримані і в роботі [14]. Щодо робочих коліс РК №1 та РК №3, то обидва задовольняють умовам міцності.

Для кількісного порівняння отриманих результатів розрахунків на міцність було введено поняття відносного зміщення периферійних ділянок лопаті, яке визначалося за формулою:

$$\Delta x = \frac{x_{\max}}{d_{\max}} \cdot 100$$

де $x_{\max}$ - максимальне зміщення, мм;

$d_{\max}$ - максимальна товщина профілю лопаті, мм.

Як видно з графіка, максимальні зміщення спостерігаються в РК №2, мінімальні – в РК №1.

Висновки. Таким чином, аналізуючи всі отримані результати, було прийнято рішення, що для малогабаритних осьових робочих коліс з низьким значенням коефіцієнту швидкохідності найбільше підходить РК №3, що має профіль НАСА. Дане робоче колесо не тільки покращило напірні та енергетичні характеристики ступеню, а й повністю задовольнило вимогам міцності.

Список літератури: 1. Гусак О.Г. Перспективи використання осьових насосів для артезіанського водопостачання/ О.Г. Гусак, О.А. Демченко, І.П. Каплун // Промислова гідраліка та пневматика. – 2010. - №4(30). – С. 8-11. 2. Гусак О.Г. Порівняльний аналіз методик проектування протічних частин осьових насосів/ О.Г. Гусак, О.А. Демченко, І.П. Каплун // Наукові праці ДонНТУ. Серія гірничо-електромеханічна. – 2011.- Вип. 21(189). – С. 44-58. 3. Proceedings of the 4th international meeting on Cavitation and dynamic problems in hydraulic machinery and systems IAHR-WG 2011 /edited by: A. Gajic, M. Benisek, M. Nedeljkovic// Investigation of small-sized axial-flow stage of a borehole pump for water supply/ A. Gusak, O. Demchenko, I. Kaplun – Belgrade: University of Belgrade, Faculty of Mechanical Engineering, 2011. – Р.143 – 150. 4. Ломакин А.А. Центробежные и осевые насосы / А.А. Ломакин - М.: Машиностроение, 1966. - 364с. 5. Михайлов А.К. Лопастные насосы. Теория, расчет и конструирование / А.К. Михайлов, В.В. Малюшенко – М., «Машиностроение», 1977. – 288 с. 6. Гусак О.Г. Вплив осьового зазору на параметри малогабаритного осьового ступеню низької швидкохідності свердловинного насоса / О.Г. Гусак, І.П. Каплун, О.А. Матвієнко// Наукові праці ДонНТУ. Серія гірничо-електромеханічна. – 2011. – Вип. 22 (195). – С. 75-87. 7. Меркулов В.М. О влиянии параметров бандажирования на надежность и ресурс рабочих лопаток турбин / В.М. Меркулов, Ю.В. Якушев, Н.Н. Федорченко, А.П. Зиньковский // Авиационно-космическая техника и технология. – 2009. - №10 (67). – С. 167-171. 8. Пат. 2264561 Российская Федерация МПК7 F04D29/34 Ступень осевого компрессора газотурбинного двигателя / Аверичкин П.А., Зайнулин И.Г., Зайнулина И.Н., Резуненко В.Ф., Храпач Н.А. - №2004117194/06; заявл. 08.06.2004; опубл. 20.11.2005. 9. Зимницкий В.А. Лопастные насосы. Справочник/ В.А. Зимницкий, А.В. Каплун, А.Н. Папир, В.А. Умов/ под ред. В.А. Зимницкого, В.А. Умова. – Л.: Машиностроение, 1986. – 334 с. 10. Charles L. Ladson Computer Program To Obtain Ordinates for NACA Airfoils / Charles L. Ladson, Cuyler W. Brooks, Jr., Acquilla S. Hill, and Darrell W. Sproles// National Aeronautics and Space Administration. Langley Research Center. Hampton, Virginia 23681-0001, 1996. – 27 p. 11. Насилов С.Н. О влиянии на гидродинамические характеристики плоской насосной решетки ее геометрических параметров и числа Рейнольдса/ С.Н. Насилов, Б.М. Теверовский // Труды ВНИИГидромаша. Гидромашиностроение. – 1963. – Вып. XXXIII. – С. 89-109. 12. Gusak A. Energy-efficient borehole pumps based on axial stages of low specific speed/ Gusak, O. Demchenko, I. Kaplun // MOTROL 12d, 2010. – Р. 45-54. 13. ANSYS CFX 10.0 Solver Models. Release 10.0 [Электронный ресурс], 2008. - 549р. - Режим доступа: <http://www.ansys.com>. 14. Мавлюдов А.М. Движители быстроходных судов / А.М. Мавлюдов, А.А. Русецкий, Ю.М. Садовников, Э.А. Фишер. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л., Судостроение, 1982. – 280с.

Поступила в редколлегию 09.06.2012

УДК 621.4.002.2: 629.73.002.72

Г.Б. ФІЛІМОНІХІН, докт. техн. наук, проф., КНТУ, Кіровоград,
А.Ю. НЕВДАХА, асис., КНТУ, Кіровоград

АПРОБАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЇ СКЛАДАННЯ РОТОРІВ ГТД БДТ ЗА МЕТОДОМ ДВОХ ПРОБНИХ СКЛАДАНЬ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ 3D МОДЕЛЮВАННЯ

Описується комп'ютерна 3D модель ротора ГТД БДТ. Моделюються основні операції і переходи типових технологічних процесів зі складання роторів цього типу методом двох

пробних складань. Описується комп'ютерна програма для проведення розрахунків і процес її відлагодження. Сформульовані задачі подальших досліджень.

Ключові слова: комп'ютерна 3D модель, газотурбінний двигун, ротор барабанно-дискового типу, складання ротора, технологія складання.

Описывается компьютерная 3D модель ротора ГТД БДТ. Моделируются основные операции и переходы типовых технологических процессов по сборке роторов этого типа методом двух пробныхборок. Описывается компьютерная программа для проведения расчетов и процесс ее отладки. Сформулированы задачи последующих исследований.

Ключевые слова: компьютерная 3D модель, газотурбинный двигатель, ротор барабанно-дискового типа, сборка ротора, технология сборки.

The 3D computer model of the GTA DDT rotor is described. The basic operations and transitions of standard technological processes on assembling of rotors of this type by the method of two trial assembling are designed. The computer program for conducting of computations and process of its debugging is described. The tasks of subsequent researches are formulated.

Keywords: 3D computer model, gas-turbine engine, rotor of drum-disk type, assembling of rotor, standard process, technology of assembling.

1. Вступ

На сьогоднішній день найбільш перспективною технологією остаточного оптимального складання роторів газотурбінних двигунів (ГТД) барабанно-дискового типу (БДТ) є технологія, заснована на методі двох пробних складань, що розроблена в роботах І.Ф.Кравченка, Е.В.Кондратюка, В.А.Тітова, Г.Б.Філімоніхіна, Г.І.Пейчева, О.Я.Качана [1-4]. Технологія, зокрема, містить типові технологічні процеси, математичну модель оптимального віртуального складання роторів ГТД БДТ, алгоритми розрахунків, комп'ютерну програму для розрахунків, перелік і вимоги до вимірювальних приладів.

У відповідності з технологією, ротор розбивається на ланки, двічі пробно складається з певним взаємним розворотом ланок, після кожного пробного складання на поворотному складальному стапелі (ПСС) заміряються биття контрольних поверхонь (КП) ланок, потім ротор складається третій раз – остаточо, з оптимальними взаємними розворотами ланок, розрахованими за певним алгоритмом. Такий метод не потребує додаткових пристосувань для деталей ротора (центруючих, притискних, перехідних контрольних тощо) і найбільш ефективний, так як характеристики пар визначаються безпосередньо, а не розраховуються за величинами биття посадочних поверхонь ланок. Проте він більш ефективний для складання консольних, ніж двоопорних роторів, оскільки биття КП заміряються на ПСС. У зв'язку з цим в роботі Філімоніхіна Г.Б., Невдахи А.Ю. [5] було побудовано математичну модель складання двоопорних роторів БДТ методом двох пробних складань з заміром биття на призмах.

В роботі [6] описано стенд для апробації типових процесів складання роторів БДТ за методом двох пробних складань з заміром биття на ПСС та на призмах. При замірі биття КП ланок натурального ротора виявлені похибки вимірювань. Це обумовлено шорсткістю КП, неточністю встановлення ніжки індикатора, власною похибкою вимірювального приладу тощо. Наявність таких похибок ускладнює апробацію методу двох пробних складань. Виникає потреба в створенні умов, в яких будуть відсутні похибки вимірювань.

В цій роботі в системі автоматичного проектування SolidWorks моделюється типовий ротор ГТД БДТ і процес заміру биття його контрольних поверхонь (КП) на ПСС та на призмах. За допомогою 3D моделі:

- моделюються основні операції і переходи типових процесів методу двох пробних складань ротора ГТД БДТ з заміром биття на ПСС та на призмах;
- перевіряються алгоритми розрахунків та відлагоджується комп'ютерна програма, що забезпечує розрахунки в типових процесах.

2. 3D модель ротора ГТД БДТ та моделювання типових процесів її складання

3D-модель ротора ГТД БДТ відображає його основні властивості. З використанням 3D-моделей ротора, ПСС та призм можна моделювати окремі операції і переходи типових процесів методу двох пробних складань:

- розмітку ланок ротора;
- складання ротора з певним взаємним розворотом ланок;
- встановлення ротора на ПСС чи призми;
- замір радіального та торцевого биття КП ланок ротора на ПСС чи призмах.

При створенні 3D моделі ротора ГТД БДТ було умовно виділено три типи ланок: вал передній (рис. 1, а); робоче колесо (рис. 1, б); вал задній (рис. 1, в). Кожна ланка ротора ГТД має фактичне тіло, технологічні КП та посадочні поверхні. Лопатки та інші конструктивні елементи ланок, які не впливають на процес остаточного складання роторів за методом двох пробних складань, не моделюються.

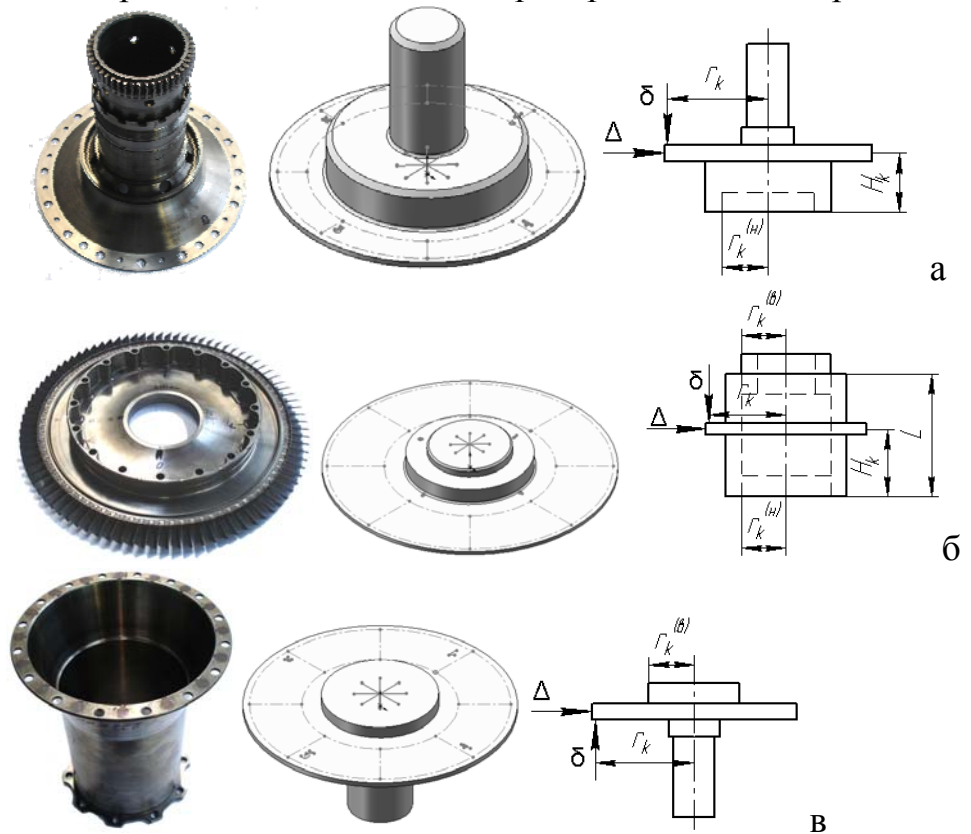


Рис. 1. 3D моделі типових ланок ротора ГТД БДТ: а – вал передній; б – робоче колесо; в – вал задній

В 3D моделі ротора задаються кількість і основні геометричні розміри ланок ротора, а величини ексцентриситетів і перекосів посадочних поверхонь ланок встановлюються випадково, що дозволяє скласти різні роторні комплекти одного типу ротора. З врахуванням цих особливостей 3D модель ротора ГТД БДТ є імітаційною комп'ютерною моделлю (ІКМ).

Відповідно до технології складання роторів [4] на ланки ротора нанесено розмітку для відрахування кутів (рис. 2). Кут на ланці збільшується проти ходу годинникової стрілки, якщо дивитись зверху на ротор, встановлений на ПСС, чи з

боку останньої ланки на ротор, встановлений на призми. У реальних роторах ланка $(k+1)$ з'єднується з ланкою k призонними чи стяжними болтами у кількості 8, 16, 24 чи 32 штук (рис. 2, а).

Кількість болтів задає

кількість варіантів установки ланки $(k+1)$ на ланку k . Призонні болти було змодельовано точками, рівномірно розподіленими по колу, що лежить у торцевій посадочній поверхні (рис.2, б).

Фактичне тіло ланки 3D моделі ротора має спільну вісь з КП, а посадочні поверхні виконані із деяким ексцентриситетом та перекосом (рис. 3). Це моделює процес виготовлення ланок реального ротора із похибками, наприклад, коли контрольні і

посадочні поверхні обробляються не за одну установку деталі на верстат.

Слід відмітити, що 3D модель ротора створена з застосуванням параметричних таблиць, в які занесені параметри ротора, необхідні для реалізації методу двох пробних складань: кількість ланок в роторі; кількість варіантів установки ланки $(k+1)$ на ланку k в парі; радіуси, на яких заміряються торцеві биття КП ланок; відстані між площинами заміру радіального биття в парі; радіус нижньої посадочної поверхні ланки k (рівний радіусу верхньої посадочної поверхні ланки $(k+1)$); відстань між нижньою посадочною поверхнею ланки k і її КП для заміру радикального биття (рис.3).

Комп'ютерна 3D-модель має наступні переваги перед натурним ротором:

- можна створювати роторні комплекти з різною кількістю ланок;
- можна оперативно змінювати геометричні розміри ланок ротора;
- можна довільно змінювати неточність виготовлення посадочних поверхонь ланок ротора;
- можна змінювати кількість призонних болтів;
- не витрачається час на складання реального ротора, не зазнають пошкоджень його деталі від багаторазових складань і розбирань, завжди стабільні показання (індикаторів) при замірі биття КП.

Для моделювання процесу заміру биття створено 3D моделі ПСС та призми. 3D модель ПСС (рис. 4, а) виконана у вигляді напрямної втулки 1 (моделює



Рис. 2. Розмітка ланки ротора КВТ ГТД з отворами під болти: а – фотографія; б – 3D модель

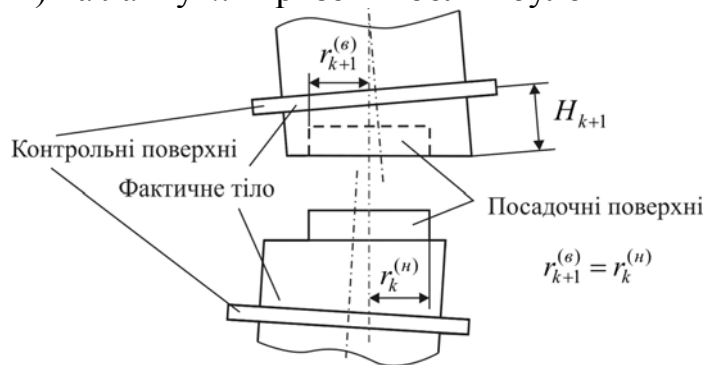


Рис. 3. З'єднання ланок ротора за посадочними поверхнями, що неточно виготовлені

центрувальне пристосування), індикаторних стійок 2, та індикаторних площин 3 (моделюють індикатори биття). 3D модель призми (рис. 4, в) виконана у вигляді горизонтального променя 4 (моделює призми), індикаторних стійок 2, та індикаторних площин 3.

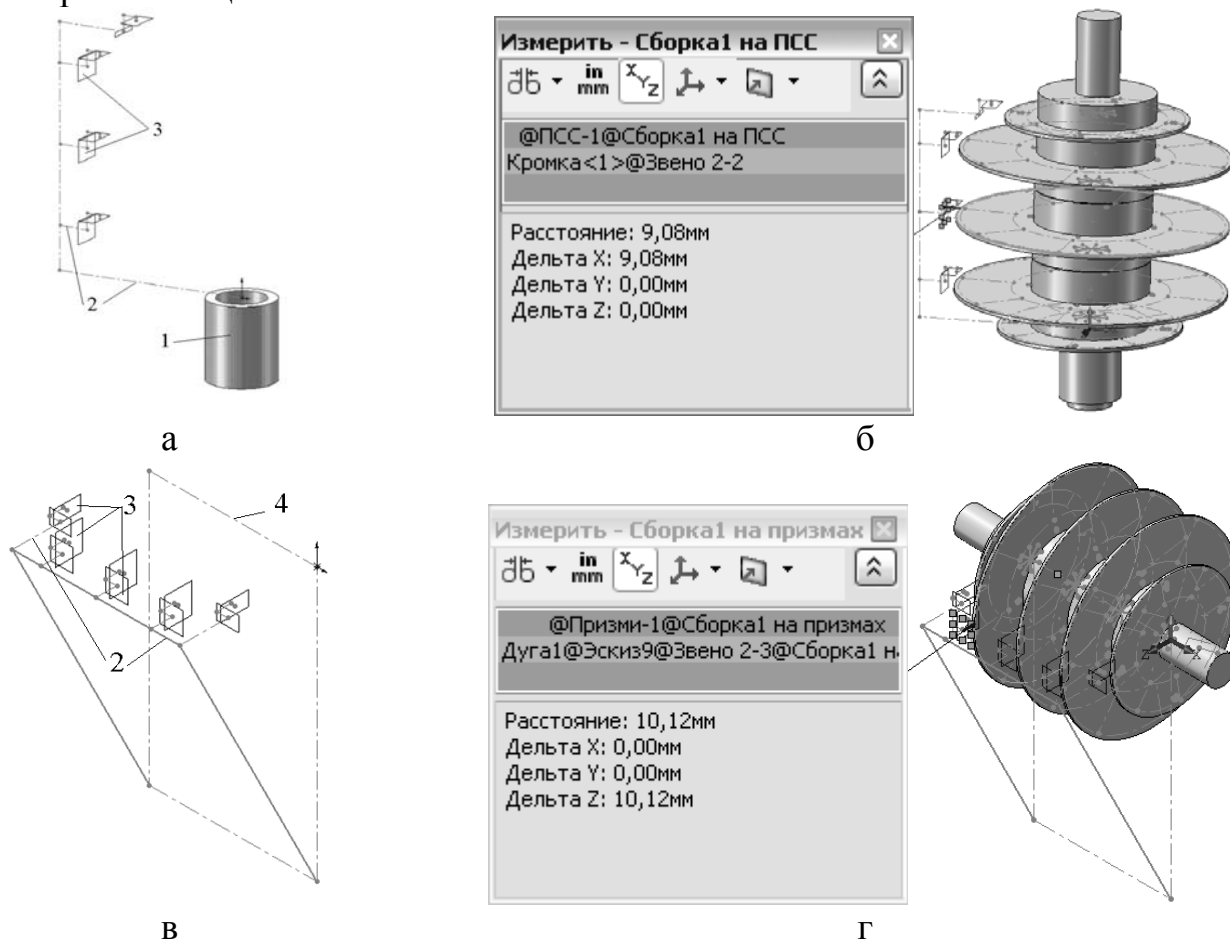


Рис. 4. Моделювання заміру биття КП ланок ротора ГТД БДТ: а – комп’ютерна модель ПСС; б – моделювання заміру биття КП (консольного чи двоопорного) ротора БДТ, встановленого на ПСС; в – комп’ютерна модель призми; г – моделювання заміру биття КП двоопорного ротора БДТ, встановленого на призмах

Як видно з рис. 4, б, г, замір биття КП ротора здійснюється за допомогою інструментів заміру САПР SolidWorks. Величину биття визначає відстань між індикаторними площинами 3 та мітками, нанесеними на КП ланок ротора.

3. Програма для числових розрахунків

Для проведення числових розрахунків, що забезпечують типові процеси складання роторів ГТД БДТ методом двох пробних складань з заміром биття на ПСС та на призмах, в середовищі швидкої розробки програм Borland Delphi, було написано програму. При її створенні використано алгоритми розрахунків, описані в роботах [4, 5].

Програма написана з можливістю подальшого розширення та корегування алгоритмів. Для цього створено окремий модуль, в якому у вигляді процедур реалізовані окремі забезпечуючі алгоритми.

Інтерфейс програми сам підказує користувачу послідовність дій (рис.5, а).

При виборі типу ротора (рис.5, б) завантажується інформація про конкретний

тип ротора: загальна кількість ланок, кількість варіантів з'єднання сусідніх ланок, необхідні для розрахунків геометричні розміри ротора, обмеження на биття і коефіцієнти функціонала якості. Якщо потрібного типу ротора немає, то його можна створити самостійно, ввівши відповідні дані. При введенні даних автоматично розраховується інша додаткова інформація про ротор, зокрема – загальна кількість варіантів його складань.

Введіть (выберите)

1. Тип ротора: KBD-D18T_06 Промотреть

2. Вид сборки: на призмах Промотреть

3. Комплект №: KBD-D18T_06_001 Промотреть

4. Расчет для комплекта: Разовой сборки Оптимальных углов Дисбаланса

Справка Выход

Биття КП ротора при наименьшем значении функционала качества!

а

Выбор типа ротора

Геометрические параметры ротора

Звено	1	2	3	4	5
$r_{\text{вн}}$, мм	300	300	305	390	203
$r_{\text{вн}}^{(0)}$, мм	250	200	200	200	150
$r_{\text{вн}}^{(1)}$, мм	20	25	25	25	20

Пара: A(1,2) B(2,3) C(3,4) D(4,5)

$I_{\text{вн}}$, мм: 50 350 270 150

$l_{\text{вн}}$, мм: 16 16 16 16

Схема геометрических параметров ротора

Дополнительные данные ротора

Звено	1	2	3	4	5
$\delta_{\text{вн}}$, мм	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
$\delta_{\text{вн}}^{(0)}$, мм	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
$\delta_{\text{вн}}^{(1)}$, мм	1	1	1	1	1
$\delta_{\text{вн}}^{(2)}$, мм	1	1	1	1	1

Дополнительная информация - расчет

Пара	$\Delta\varphi$, град	α_i	$l_{\text{вн}}$, мм
A(1,2)	22.5	1	50
B(2,3)	22.5	16	400
C(3,4)	22.5	256	670
D(4,5)	22.5	4096	820

Вариантов сборки ротора: 65536

Выбор типа ротора

б

Редактирование роторного комплекта

Комплект №: KBD-D18T_06_001

Название роторного комплекта: KBD-D18T_06_001

Таблица биття по результатам двух пробных сборок, мм

Звено	Статические биття				Первая пробная сборка				Вторая пробная сборка			
	$\Delta 3_{\text{к.0}}$	$\Delta 4_{\text{к.0}}$	$\Delta 3_{\text{к.1}}$	$\Delta 4_{\text{к.1}}$	$\Delta 3_{\text{к.2}}$	$\Delta 4_{\text{к.2}}$	$\Delta 3_{\text{к.3}}$	$\Delta 4_{\text{к.3}}$	$\Delta 3_{\text{к.4}}$	$\Delta 4_{\text{к.4}}$	$\Delta 3_{\text{к.5}}$	$\Delta 4_{\text{к.5}}$
1	0	0	0	0	0	0	0.08	-0.1	0	0	0.1	-0.1
2	0	0	0	0	0.01	0.01	0.06	-0.04	-0.01	0.04	-0.02	0.01
3	0	0	0	0	-0.02	-0.07	0.04	-0.02	-0.08	0.07	-0.03	-0.01
4	0	0	0	0	0.01	0.02	-0.06	0.04	-0.02	-0.03	-0.01	0.1
5	0	0	0	0	0	0	-0.07	0.08	0	0	0.1	0

Характеристики пар - расчет

Звено	$\delta_{\text{вн}}$		$\delta_{\text{вн}}^{(0)}$		$\delta_{\text{вн}}^{(1)}$		$\delta_{\text{вн}}^{(2)}$	
	х, мм	у, мм	х, мм	у, мм	х, мм	у, мм	х, мм	у, мм
1	0	0	0	0	0.01	0	-0.09	0.1
2	-0.02	0.02	0.00	-0.01	0.11	-0.14	-0.04	0.01
3	-0.02	0.05	0.03	-0.01	-0.02	-0.01	0.04	-0.01
4	-0.03	-0.01	0.01	-0.03	0.03	0.02	0.07	-0.08
5	0	-0.01	0.01	0.02	0.06	0.02	-0.03	-0.06

Эксцентриситеты и перекосы ПП - расчет

Поверт- ность	$\delta_{\text{вн}}^{(0)}$		$\delta_{\text{вн}}^{(1)}$	
	х, мм	у, мм	х, мм	у, мм
1В	-0.01	0.01	0.04	-0.06
2Н	0.01	-0.01	-0.04	0.06
2В	-0.02	0.05	-0.01	0.00
3Н	0.02	-0.05	0.01	0.00
3В	-0.03	-0.01	0.01	0.01

Положение ротора

Формат ввода значений: ###.##

в

Выбор вида сборки

Точность измерительных приборов, мм

0 0.0 0.00 0.000 0.0000 0.00000

Формат выводимых значений: ###.##

Положение ротора при замере биття КП

☐ на ступе

☒ на призмах

Расширение комплекта: * RPackagePrism

Применить Отмена

Выбран вид сборки: на призмах

г

Поиск оптимальных значений углов и номера сборки

Разовая сборка

Оптимальные значения

Номер сборки: 101

Пара	φ_1 , град	φ_2 , град
A(1,2)	45	45
B(2,3)	225	270
C(3,4)	135	405
D(4,5)	30	435

Прогнозируемые биття - расчет

Звено	$\Delta\varphi^{(0)}$		$\delta_{\text{вн}}^{(0)}$	
	х, мм	у, мм	х, мм	у, мм
1	0	0	0.03	-0.05
2	0.04	0.02	-0.04	-0.01
3	-0.17	0.01	-0.03	0.02
4	0.03	-0.03	-0.03	0.03
5	0	0	0.02	-0.02

Функционал качества - расчет

$Q = 0.34806$

Эксцентриситеты и перекосы КП звеньев относительно первого - расчет

Звено	Эксцентриситет				Перекося			
	х, мм	у, мм	$\delta_{\text{вн}}$, мм	$\varphi_{\text{к}}$, град	х, мм	у, мм	$\delta_{\text{вн}}$, мм	$\varphi_{\text{к}}$, град
1	0	0	0	0	-0.03	0.05	0.06	121.5
2	-0.02	0.00	0.02	169.4	0.03	-0.02	0.04	335.1
3	0.01	0.09	0.09	65.9	0.02	0.03	0.04	53
4	0	0.02	0.02	90.9	0.00	-0.05	0.05	265.3
5	0	0	0	0	0.03	0	0.03	358.8

Биття КП ротора при наименьшем значении функционала качества!

д

Рис. 5. Вікна програми складання роторів ГТД БДТ методом двох пробних складань: а – головне (після введення всіх даних); б – вибору чи завдання типу ротора; в – вибору номера комплекту; г – вибору виду складання ротора; д – розрахунку оптимальних кутів

Вид складання ротора (рис.5, г) визначає, де саме будуть заміряться биття КП – на ПСС чи на призмах. Також в цьому вікні вказується точність приладу для вимірювання биття.

При виборі номеру комплекту (рис.5, в) користувачем вводяться биття КП

ланок конкретного роторного комплексу (або завантажуються з файлу, якщо вони вже були введені): еталонні, першого та другого пробного складання. В цьому вікні, при введенні даних, в режимі реального часу, розраховуються характеристики пар та неточність виготовлення посадочних поверхонь.

Після вводу всіх даних можна виконувати розрахунки:

- разового складання (для цього потрібно вказати конкретні кути взаємного розвороту ланок чи порядковий номер варіанта складання – від 0 до максимального – розрахованого у вікні типу ротора);
- оптимальних кутів (рис.5, д);
дисбалансу ротора.

Вікно разового віртуального складання ротора співпадає за виглядом із вікном розрахунку оптимальних кутів (рис. 5, д). Тільки у цьому вікні є можливість задавати номер складання ротора чи кути повороту ланок ротора. За ними розраховується значення функціонала якості і биття КП ланок ротора (прогнозовані биття).

4. Апробація типових процесів, перевірка алгоритмів розрахунку та відлагодження програми

За допомогою ІКМ перевірялась робота програми. Для цього створено такі 3 різні типи роторів.

1. З деякими ексцентриситетами та відсутніми перекосами посадочних поверхонь ланок ротора. Оптимальні кути повороту відомі. Торцеві і радіальні биття КП ротора при оптимальних кутах – відсутні.

2. З відсутніми ексцентриситетами та деякими перекосами посадочних поверхонь ланок ротора. Оптимальні кути повороту відомі. Торцеві і радіальні биття КП ротора при оптимальних кутах – відсутні;

3. З деякими ексцентриситетами та перекосами посадочних поверхонь ланок ротора. Оптимальні кути повороту невідомі.

В рамках експерименту:

- змодельовано описані в роботах [4, 5] основні операції і переходи типового процесу оптимального складання роторів з заміром биття КП на ПСС та на призмах;

- заміряно биття КП після першого та другого пробного складань;
- заміряні дані та інформація про ротор занесені до програми для числових розрахунків і розраховані оптимальні кути;
- порівняні розраховані кути з дійсно оптимальними;
- складено ротор з оптимальними кутами і перевірені биття його КП;
- складено ротор з довільним взаємним розворотом ланок, заміряні досягнуті биття КП його ланок та порівняні з прогнозованими.

Експерименти проводилися на роторах, що складаються з 2-х, 3-х, 4-х та 5-ти ланок; для кожного типу ротора створювалось три різні роторні комплекти; биття КП замірялись на ПСС та на призмах.

В результаті перевірені алгоритми розрахунків та відлагоджена сама програма. Отримано зручний інструмент для числових розрахунків. Встановлено, що биття КП ланок ротора при оптимальному складанні до 15 разів менші ніж при складанні ротора з довільним розворотом ланок.

Маючи натурну модель ротора, програму та ІКМ типового ротора БДТ, можна: планувати та проводити багатофакторні експерименти по визначенню стійкості методу до неточності заміру биття КП ланок ротора чи неточності встановлення індикатора биття; визначати ефективність методу двох пробних складань з заміром биття на ПСС та на призмах; складати ротори ГТД БДТ на виробництві.

Висновки

За допомогою САПР SolidWorks створені 3D моделі типового ротора ГТД БДТ, ПСС та призми. Змодельовані основні операції та переходи типових процесів методу двох пробних складань роторів ГТД БДТ з заміром биття на ПСС та на призмах. Апробовані типові процеси та переходи цього методу складання роторів. Перевірені алгоритми розрахунків, та відлагоджена комп'ютерна програма для числових розрахунків. Доведена ефективність методу, зокрема встановлено, що биття КП ланок ротора при оптимальному складанні до 15 разів менші ніж при складанні ротора з довільним розворотом ланок.

Список літератури: 1. СОУ-Н МПП 49.050-074:2006. Складання роторів газотурбінних двигунів барабанно-дискової конструкції методом двох пробних зборок / *Е.В.Кондратюк, В.А.Тітов, Г.Б.Філімоніхін* // Настанова Міністерства промислової політики України, 2006. – 32 с. 2. Патент № 33372 Україна. Спосіб складання ротора газотурбінного двигуна / Кондратюк *Е.В., Пейчев Г.І., Тітов В.А., Тривайло М.С. Філімоніхін Г.Б.* – опубл. 25.06.2008, бюлетень № 12. 3. *Тітов В.А.* Забезпечення ресурсу та експлуатаційної надійності виробів машинобудування технологічними методами - науковий напрямок кафедри МПМ та РП НТУУ «КПІ» / *В.А.Тітов* // Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». Серія «Машинобудування». – 2010. № 60. с. 25-32. 4. *Кравченко И.Ф.* Сборка роторов ГТД барабанно-дискового типа: типовые процессы, алгоритмы расчетов: Монография / *И.Ф.Кравченко, Э.В.Кондратюк, В.А.Титов, Г.Б.Филимонихин, Г.И.Пейчев, А.Я.Качан.* – Киев: КВИЦ, 2011. – 197 с. 5. *Філімоніхін Г.Б.* Складання двоопорних роторів барабанно-дискової конструкції методом двох пробних складань з заміром биттів на призмах / *Г.Б.Філімоніхін, А.Ю.Невдаха* // Збірник наукових праць КНТУ, 2009, Вип. 22, С. 206–210. 6. *Філімоніхін Г.Б.* Стенд для дослідження процесу складання роторів барабанно-дискової конструкції / *Г.Б.Філімоніхін, А.Ю.Невдаха* // Збірник наукових праць КНТУ, 2010, Вип. 22, С. 206–210.

Поступила в редколлегию 15.06.2012

УДК 629.4.08

В. В. АРТЕМЧУК, канд. техн. наук, доц., Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту ім. В. Лазаряна,
А.А. БОСОВ, канд. техн. наук, доц., дніпропетровський національний університет залізничного транспорту ім. В. Лазаряна,

НЕОБХІДНІ УМОВИ В ЗАДАЧІ ВЕКТОРНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ ДЛЯ ФУНКЦІОНАЛІВ СТОСОВНО ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

В роботі представлено розв'язок задачі векторної оптимізації в просторі функціоналів. Розроблений алгоритм можна застосовувати для техніко-економічної оцінки технології

відновлення зношених деталей та оптимізації процесу відновлення за критеріями ресурсу (терміну експлуатації) та вартості процесу відновлення деталей.

Ключові слова: відновлення деталей, векторна оптимізація, ресурс, функціонал

В работе представлены решения задачи векторной оптимизации в пространстве функционалов. Разработанный алгоритм можно применять для технико-экономической оценки технологии восстановления изношенных деталей и оптимизации процесса восстановления по критериям ресурса (срока эксплуатации) и стоимости процесса восстановления деталей.

Ключевые слова: восстановление деталей, векторная оптимизация, ресурс, функционал

The paper presents the solution of vector optimization in the space of functionals. The developed algorithm can be used for techno-economic evaluation of technologies for the rehabilitation of worn parts and to optimize the recovery of the resource criteria (lifetime) and cost recovery process details.

Keywords: parts restoration, vector optimization, resource, functional

Вступ, постановка проблеми

Однією з актуальних задач ремонтного виробництва залізниці є підвищення ресурсу рухомого складу та зниження витрат на ремонт. Одним із напрямків розвитку ремонтного виробництва на залізничному транспорті є розвиток існуючих та розробка нових ресурсоощадних відновлювальних технологій. При цьому важливою складовою розв'язання поставленої задачі є нанесення відновлювальних покриттів, строк експлуатації яких буде не менший, ніж нової деталі. Основною причиною відмов та несправностей механічної частини рухомого складу є знос та пошкодження контактних поверхонь деталей, в результаті чого виникають додаткові динамічні навантаження, вібрації, биття, порушення герметичності та режиму змащування, втрата міцності з'єднання для спряжень з гарантованим натягом. До того ж знос, який супроводжується пошкодженнями робочої поверхні деталей такими, як risks, задири, глибинні вириви та інші, зменшує втомну міцність та може приводити до руйнування.

На даний час існують різні шляхи підвищення зносостійкості деталей: при проектуванні рухомого складу (й інших машин) вдосконалювати конструкцію елементів механічної частини, застосовувати нові матеріали та технології на етапі виготовлення, закладати використання більш ефективних змащувальних матеріалів. Однак проблема зношування деталей, ймовірно залишиться і потребуватиме уваги і для нових локомотивів та вагонів, тому виникне і у подальшому необхідність їх заміни або відновлення.

Як вже було показано у роботах [1-4] одним із напрямків розвитку сучасних відновлюючих технологій є використання багатошарових покриттів. Однак, при розробці технологій відновлення шаруватими покриттями постає важлива проблема раціонального вибору методів відновлення, матеріалів, ефективних режимів, визначення доцільності використання більш складних технологій з точки зору економічності та зносостійкості.

Дана робота є логічним продовженням і розвитком робіт [1-4].

Метою даної роботи є визначення раціональних параметрів відновлення зношених деталей за допомогою інструментів векторної оптимізації з врахуванням економічної складової процесу.

Виклад основного матеріалу.

В загальному вигляді розглядається задача векторної оптимізації.

$$\begin{pmatrix} F_1[u] \\ F_2[u] \end{pmatrix} \rightarrow \min \quad (1)$$

при умові, що функція $u(x)$ неперервна та диференційована на відріжку $x \in [a, b]$, а по своїм значенням належить відріжку $[\underline{u}, \bar{u}]$ та задовольняє граничним умовам.

$$u(a) = C_1; \quad u(b) = C_2 \quad (2)$$

Функціонали F_1 і F_2 мають вид

$$\begin{aligned} F_1[u] &= \int_a^b f_1(x, u, u') dx; \\ F_2[u] &= \int_a^b f_2(x, u, u') dx \end{aligned} \quad (3)$$

Визначення 1. Функція $u[x]$, яка задовольняє умовам (2) будемо називати ефективною, якщо її варіація

$$\tilde{u}(x) = \bar{u}(x) + \varepsilon \varphi(x) \quad (4)$$

призводить до покращення одного з функціоналів та до погіршення другого.

Визначення 2. Множина U , елементами якої є ефективні функції будемо називати рішенням задачі (1) – (2), якщо будь-які дві функції $u_1[x]$ та $u_2[x]$ між собою непорівнянні, тобто має місце

$$\begin{pmatrix} F_1[u_1] \leq F_1[u_2] \\ F_2[u_1] \geq F_2[u_2] \end{pmatrix} \text{ або } \begin{pmatrix} F_1[u_1] \geq F_1[u_2] \\ F_2[u_1] \leq F_2[u_2] \end{pmatrix}$$

причому серед нерівностей, хоча б одне являється строгим.

Із визначення 1 витікає, що якщо $u[x]$ – ефективно, то приріст функціоналів з необхідністю повинні мати різний знак, а тому маємо.

$$\Delta F_1 + t \cdot \Delta F_2 = 0, \quad (5)$$

де $t \geq 0$,

$$\Delta F_1 = F_1[\tilde{u}] - F_1[u];$$

$$\Delta F_2 = F_2[\tilde{u}] - F_2[u].$$

Розрахуємо приріст функціоналів з урахуванням (4), тоді

$$\Delta F_1 = \int_a^b (f_1(x, \tilde{u}, \tilde{u}') - f_1(x, u, u')) dx$$

та розкладаючи $f_1(x, \tilde{u}, \tilde{u}')$ у ряд по ε отримаємо

$$\Delta F_1 = \int_a^b \left(\frac{\partial f_1}{\partial u} \varepsilon \varphi(x) + \frac{\partial f_1}{\partial u'} \varepsilon \varphi'(x) + 0(\varepsilon^2) \right) dx = \int_a^b \left(\frac{\partial f_1}{\partial u} - \frac{d}{dx} \left(\frac{\partial f_1}{\partial u'} \right) \right) \varepsilon \varphi(x) + \frac{\partial f_1}{\partial u'} \varepsilon \varphi(x) \Big|_a^b + 0(\varepsilon^2)$$

Накладемо на функцію $\varphi(x)$ умову

$$\varphi(a) = \varphi(b) = 0.$$

З урахуванням цієї умови приріст ΔF_1 буде мати вигляд

$$\Delta F_1 = \varepsilon \int_a^b \left(\frac{\partial f_1}{\partial u} - \frac{d}{dx} \left(\frac{\partial f_1}{\partial u'} \right) \right) \varphi(x) dx + 0(\varepsilon^2),$$

аналогічно отримаємо для ΔF_2

$$\Delta F_2 = \varepsilon \int_a^b \left(\frac{\partial f_2}{\partial u} - \frac{d}{dx} \left(\frac{\partial f_2}{\partial u'} \right) \right) \varphi(x) dx + 0(\varepsilon^2).$$

Підставив ці прирости у необхідну умову (5) отримаємо

$$\int_a^b \left(\frac{\partial (f_1 + tf_2)}{\partial u} - \frac{d}{dx} \left(\frac{\partial (f_1 + tf_2)}{\partial u'} \right) \right) \varphi(x) dx + \frac{0(\varepsilon^2)}{\varepsilon} = 0.$$

Спрямувавши ε до нуля маємо

$$\int_a^b \left(\frac{\partial f}{\partial u} - \frac{d}{dx} \left(\frac{\partial f}{\partial u'} \right) \right) \varphi(x) dx = 0,$$

де $f = f_1 + tf_2$.

Оскільки $\varphi(x)$ узята довільно, то в силу основної лемми варіаційного обчислення [5] отримаємо

$$\frac{\partial f}{\partial u} - \frac{d}{dx} \left(\frac{\partial f}{\partial u'} \right) = 0. \quad (6)$$

Дане рівняння є аналогом рівняння Ейлера [5], стосовно до задачі векторної оптимізації (1).

Нехай $u(x, t, \tilde{c}_1, \tilde{c}_2)$ є загальним рішенням диференціального рівняння (6).

Сталі інтегрування $\tilde{C}_1$ і $\tilde{C}_2$ визначаємо, як деякі функції параметра t з граничних умов (2), тобто розв'язуємо систему рівнянь

$$\begin{aligned} u(a, t, \tilde{c}_1, \tilde{c}_2) &= c_1 \\ u(b, t, \tilde{c}_1, \tilde{c}_2) &= c_2 \end{aligned} \quad (7)$$

Якщо $\tilde{C}_1(t)$, $\tilde{C}_2(t)$ є розв'язком системи (7), тоді ефективні рішення задачі векторної оптимізації (1) мають вигляд $u(x, t, \tilde{C}_1(t), \tilde{C}_2(t))$ при $x \in [a, b]$. Підставив отримане $u(x, t, \tilde{C}_1(t), \tilde{C}_2(t))$ в функціонали (3), отримаємо дві функції, які залежать від параметру $t \geq 0$.

Тоді серед всіх t необхідно відібрати такі, щоб значення $u(x, t, \tilde{C}_1(t), \tilde{C}_2(t))$ були б незрівняними, тобто задовольняли визначенню 2.

Приклад 1. Розглянемо чисто ілюстративний приклад теоретичного розгляду викладеного вище.

В цьому прикладі функціонали мають вигляд

$$\begin{aligned} F_1[u] &= \int_0^1 u'^2 dx \\ F_2[u] &= \int_0^1 (u'^2 - u) dx. \end{aligned}$$

Причому бажано зробити F_1 якомога меншим, а F_2 якомога більшим, тобто розглядається задача векторної оптимізації

$$\begin{pmatrix} F_1[u] \\ -F_2[u] \end{pmatrix} \rightarrow \min$$

з граничними умовами $u(0) = 1$; $u(1) = 0$.

Функції f_1 і f_2 мають наступний вигляд

$$f_1 = u'^2; \quad f_2 = -(u'^2 - u),$$

а функція f приймає представлення

$$f = u'^2 - t(u'^2 - u).$$

Диференціальне рівняння (6) буде наступним

$$t - 2(1-t)u'' = 0.$$

Виконав інтегрування отримаємо загальний розв'язок

$$u = \frac{tx^2}{4(1-t)} + \tilde{C}_1 x + \tilde{C}_2.$$

З урахуванням початкових умов система (7) приймає вигляд

$$\begin{cases} \tilde{C}_2 = 1 \\ \frac{t}{4(1-t)} + \tilde{C}_1 + \tilde{C}_2 = 0 \end{cases},$$

звідки отримуємо

$$\tilde{C}_2(t) = 1;$$

$$\tilde{C}_1(t) = -1 - \frac{t}{4(1-t)}.$$

Підставив у загальний розв'язок отримаємо

$$u = \frac{tx^2}{4(1-t)} + x - \frac{t}{4(1-t)} - 1. \quad (8)$$

Оскільки при $t \rightarrow 1$ $u \rightarrow \infty$, тому значення параметра $t=1$ виключаємо та розглядаємо дві множини $[0,1]$ та $(1,\infty)$.

Співвідношення (8) можна розглядати, як деяку поверхню, коли $x \in [0,1]$, а t належить одній з вказаних множин.

Так, наприклад, коли $x \in [0,1]$, а $t \in [0,1)$ вигляд цій поверхні представлено на рис. 1, а випадок $x \in [0,1]$, а $t \in (1,\infty)$ представлено на рис. 2.

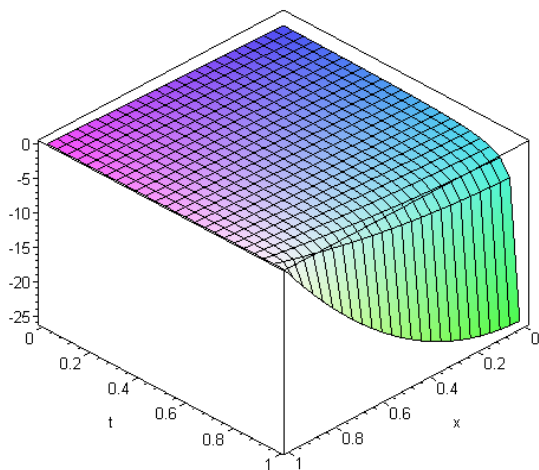


Рис. 1. Вигляд поверхні $u(x,t)$ при $x \in [0,1]; t \in [0,1)$

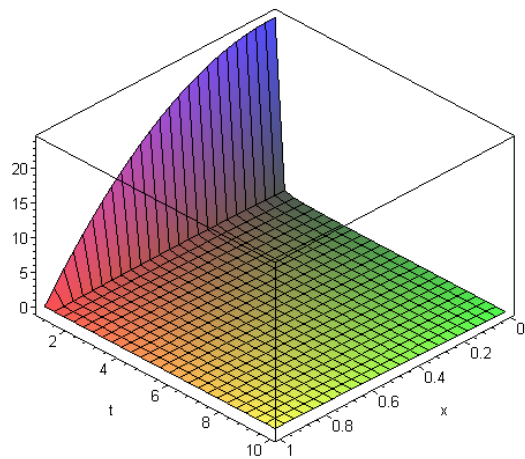


Рис. 2. Вигляд поверхні $u(x,t)$ при $x \in [0,1]; t \in (1,10)$

Підставив (8) в функціонали та виконав інтегрування, отримуємо наступне представлення даних функціоналів, як функцій $t \geq 0$.

$$F_1 = \frac{1}{3} \frac{\left(\frac{t}{1-t} - \frac{t}{4-4t} - 1\right)^3 (1-t)}{t} - \frac{1}{3} \frac{\left(-1 - \frac{t}{4-4t}\right)^3 (1-t)}{t}$$

$$F_2 = \frac{1}{5} \left(-\frac{t}{4-4t} + \frac{4t^2}{(4-4t)^2}\right)^2 + \frac{1}{2} \left(-1 + \frac{4t}{4-4t}\right) \left(-\frac{t}{4-4t} + \frac{4t^2}{(4-4t)^2}\right) +$$

$$+ \frac{2}{3} \left(2 + \frac{t}{4-4t}\right) \left(-\frac{t}{4-4t} + \frac{4t^2}{(4-4t)^2}\right) + \frac{1}{3} \left(-1 + \frac{4t}{4-4t}\right)^2 + \left(2 + \frac{t}{4-4t}\right) \left(-1 + \frac{4t}{4-4t}\right) + \left(2 + \frac{t}{4-4t}\right)^2$$

Графіки цих функцій представлено на рисунках 3, 4.

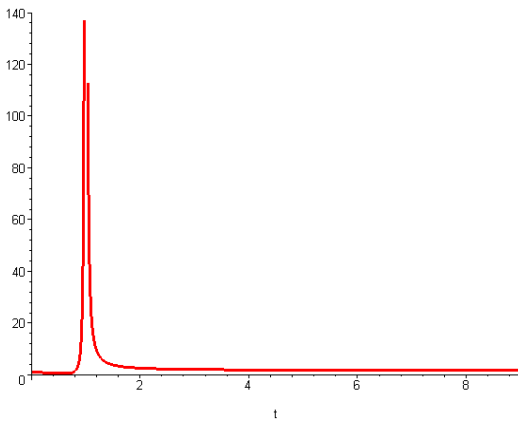


Рис. 3. Графік функції $F_1 = F_1(t)$

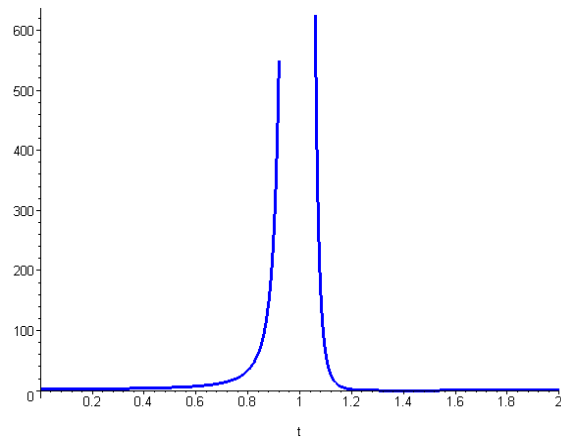


Рис. 4. Графік функції $F_2 = F_2(t)$

Виключаючи параметр t будуюмо взаємозв'язок між F_1 та F_2 (рис. 5)

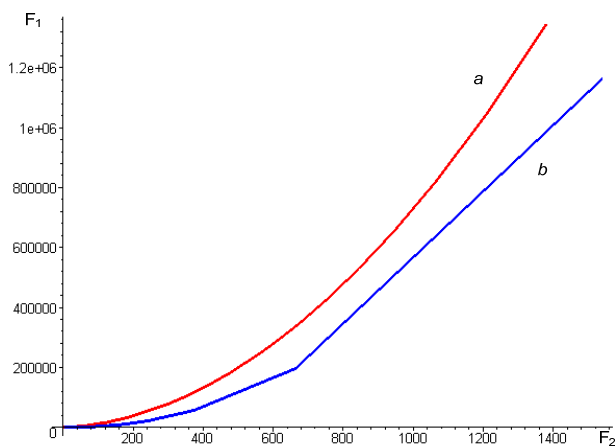


Рис. 5. Взаємозв'язок між F_1 та F_2 при $t \in [0,1)$ крива a ; та при $t \in (1,10]$ крива b

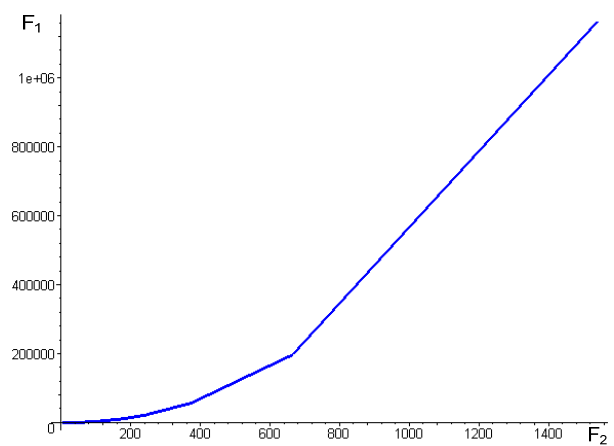


Рис. 6. Розв'язок задачі векторної оптимізації прикладу 1 в просторі функціоналів

Як слідує з рис. 5 крива a розміщена вище кривої b , тому значення $t \in [0,1)$ виключаємо з рішення, а залишаємо значення $t \in (1, \infty)$.

Таким чином в просторі функціоналів рішення задачі векторної оптимізації розглядуваного прикладу 1 представлено на рис. 6.

Приклад 2. В цьому прикладі розглянемо задачу, пов'язану з технологічними процесами відновлення деталей шаруватими покриттями, які дозволяють в достатньо широкому діапазоні регулювати властивості покриттів по товщині і визначати раціональні режими відновлення.

Під раціональністю режимів відновлення будемо розуміти такі режими, коли вартість їх відновлення як можна менша, а строк служби якомога більший.

Нехай $Z(r, u)$ - вартість відновлення циліндричної деталі одичної довжини від розміру радіусу r до розміру радіусу $r + dr$, тоді відновлення циліндру від розміру r_0 до $r_0 + H$ складе

$$F_1[u] = \int_{r_0}^{r_0+H} Z(r, u) 2\pi r dr, \quad (9)$$

де u - вектор, що характеризує режим відновлення.

Якщо $\xi(r)$ - швидкість зносу товщини dr , то

$$\frac{dr}{\xi(r)}$$

буде характеризувати строк експлуатації за зносом цієї товщини.

Оскільки $\xi(r)$ - випадкова величина з щільністю розподілення ймовірностей $f(v, r)$, то середній строк експлуатації за зносом складе

$$M\left[\frac{1}{\xi(r)}\right] dr = \int_a^b \frac{f(v, r)}{v} dv dr,$$

а середній строк експлуатації за зносом товщини H буде дорівнювати

$$F_2[u] = \int_{r_0}^{r_0+H} \left(\int_a^b \frac{f(v, r)}{v} dv \right) dr. \quad (10)$$

В цьому представленні середнього строку експлуатації за зносом величини a і b залежать від радіусу та режимів відновлення, тобто

$$a = a(r, u);$$

$$b = b(r, u).$$

Таким чином приходимо до задачі векторної оптимізації

$$\begin{pmatrix} F_1[u] \\ -F_2[u] \end{pmatrix} \rightarrow \min$$

за умови, що режим відновлення $u(r)$ належить області допустимих по технології режимів U .

Полагаючи

$$f_1 = Z(r, u) \cdot 2\pi r;$$

$$f_2 = - \int_{a(r, u)}^{b(r, u)} \frac{f(v, r)}{v} dv,$$

$$\text{та ввівши } f = f_1 + t \cdot f_2,$$

отримуємо можливість застосування необхідної умови (6).

З певною ступеню точності приймаємо $Z(r, u) = c \cdot u^2$, а швидкість зносу моделюємо випадковою величиною, що розподілена за рівномірним законом, межі зміни якої представляють собою

$$a = \frac{a_0 r}{u}; \quad b = \frac{b_0 r}{u}; \quad 0 < a_0 < b_0.$$

В цьому випадку f_2 буде дорівнювати

$$f_2 = \frac{u \cdot \ln \frac{b_0}{a_0}}{(b_0 - a_0) \cdot r}.$$

Умова (6) в даному випадку буде наступною

$$4\pi c \cdot r \cdot u - t \frac{\ln \frac{b_0}{a_0}}{(b_0 - a_0) \cdot r} = 0,$$

звідки маємо

$$u = t \frac{\ln \frac{b_0}{a_0}}{4\pi c (b_0 - a_0) \cdot r^2}.$$

Дане u підставив в (9) і (10) отримаємо

$$F_1(t) = \frac{1}{8\pi c} \cdot \left(\frac{\ln \frac{b_0}{a_0}}{b_0 - a_0} \right)^2 \cdot \left(\frac{1}{r_0^2} - \frac{1}{(r_0 + H)^2} \right) \cdot t^2;$$

$$F_2(t) = \frac{1}{8\pi c} \cdot \left(\frac{\ln \frac{b_0}{a_0}}{b_0 - a_0} \right)^2 \cdot \left(\frac{1}{r_0^2} - \frac{1}{(r_0 + H)^2} \right) \cdot t.$$

Поклавши

$$A = \frac{1}{8\pi c} \cdot \left(\frac{\ln \frac{b_0}{a_0}}{b_0 - a_0} \right)^2 \cdot \left(\frac{1}{r_0^2} - \frac{1}{(r_0 + H)^2} \right),$$

знайдемо зв'язок між F_1 та F_2

$$F_1 = \frac{F_2^2}{A}.$$

Висновки.

З наведених матеріалів витікає, що збільшення середнього строку експлуатації за зносом відновленої деталі потребує квадратичних витрат коштів на відновлення. Тому для будь-якої відновлювальної технології важливим є визначення розрахункового раціонального строку експлуатації (пробігу) деталей і під визначений термін (пробіг) проведення регулювання параметрів технологічного процесу. Такий підхід дозволяє отримувати певний (визначений) ресурс відновлених деталей без зайвих витрат на ремонтно-відновлювальні роботи.

Список літератури: 1. *Артемчук В.В.* Моделювання зносу багатошарового покриття. Міжнародний науковий журнал «Проблеми трибології». №2, 2011. - С. 59-65 2. *Артемчук В.В.*

Побудова математичної моделі зносу з уточненими параметрами. Міжнародний науковий журнал "Проблеми трибології". № 4, 2011. - С. 121-131 **3. Артемчук В.В.** Теоретичні аспекти моделювання зносу багатошарових покриттів. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. - Дніпропетровськ, Україна, 2011 / Випуск 40. - С. 37-45 **4. Артемчук В.В.** Визначення раціональних параметрів шаруватого покриття при відновленні зношених деталей. Східно-Європейський журнал передових технологій. № 2/13(56), 2012. - С. 3-8. **5. Гельфанд И.М., Фомин С.В.** Вариационное исчисление. – М.: ГИФ-М.Л., 1961. – с. 228

Поступила в редколлегию 21.06.2012

УДК 629.11.012; УДК 621.757-93

І. Л. ОБОРСЬКИЙ, канд. техн. наук, доц., КНУТД, Київ,
А. С. ЗЕНКІН, докт.техн.наук, проф., КНУТД, Київ,
А. Г. АНДРЕЄВ, канд. техн. наук, доц., КНУТД, Київ,
О. В. ЩЕПКИН, н.с., НТУ «ХПІ», Харків,
А. П. ЗВОНАРЬОВА, н.с., НТУ «ХПІ», Харків,
А. Г. АНДРЕЄВ, канд. техн. наук, доц., н.с., НТУ «ХПІ», Харків

ДОСЛІДЖЕННЯ ВЗАЄМОЗВ'ЯЗКУ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ СКЛАДАННЯ ТА НДС З'ЄДНАНЬ З НАТЯГОМ

У статті наведені результати досліджень технологічних параметрів складання та НДС з'єднань з натягом бандажа з центром колісним рухомого складу залізничного транспорту, що дозволили розробити нову конструкцію складеного колеса підвищеної міцності й надійності в експлуатації.

Ключові слова: з'єднання з натягом, технологічні параметри термічного складання, напружено-деформований стан (НДС).

В статье приведены результаты исследований технологических параметров сборки и НДС соединений с натягом бандажа с центром колесным подвижного состава железнодорожного транспорта, которые позволили разработать новую конструкцию составного колеса повышенной прочности и надежности в эксплуатации.

Ключевые слова: соединения с натягом, технологические параметры термической сборки, напряженно-деформированное состояние (НДС).

The results of studies of technological parameters of preparation and VAT connections with tension bandage wheeled to the center for railway, which allowed us to develop new design of composite wheels for added strength and reliability in operation.

Keywords: connection to the tension, the technological parameters of the thermal assembly, the stress-strain state (SSS).

Постановка проблеми

У наш час перед залізничним транспортом ставиться мета підвищення вантажопідйомності й впровадження швидкісних режимів перевезень вантажів і пасажирів [1, 2, 3]. У цьому зв'язку актуальним завданням для транспортного машинобудування є створення рухомого складу, який забезпечує підвищені якісні показники надійності й безпеки. Ці показники істотно залежать від

конструкції та якості з'єднань бандаж-центр складених шпичевих коліс і технології їхнього формування. До конструктивних недоліків цих з'єднань слід віднести виконання виточення в бандажі під бандажне стопорне кільце, через що послабляються конструкція бандажа й збільшуються його габарити й маса. Технологічними недоліками є використання заочування бандажа після складання з центром, що призводить до певних порушень зони контакту сполучених деталей і зниженню міцності посадки. Вирішення поставленої проблеми взаємозалежне з дослідженнями напружено-деформованого стану з'єднань бандаж-центр і конструктивно-технологічними параметрами складання таких з'єднань, формованих з використанням нагрівання й охолодження. Тому в роботі проведені дослідження з метою створення передумов для розробки нової конструкції колеса електрорухомого складу й технології його складання.

Основні результати досліджень

Досліджуваным об'єктом є колесо моторного вагона ЕР-9, що використовується на залізничному транспорті (рис. 1, а) та колесо, яке має конструктивні зміни (рис. 1, б) [1, 2, 3].

Особливістю нової конструкції колеса (див. рис. 1, б) є те, що на відміну від існуючої (див. рис. 1, а) бандаж 2 виготовляється без канавки під кільце бандажне 3, а має на посадковій поверхні бурт упорний 4 і буртик 5 (див. рис. 1, б). Буртик 5 разом буртом упорним 4 утворює на посадковій поверхні бандажа П-образний паз під посадкову поверхню колісного центра 1. Матеріал бандажа сталь бандажна марки ІІ (ДЕРЖСТАНДАРТ 398-2010), а центра колісного сталь 25Л ІІІ (ДЕРЖСТАНДАРТ 398-88).

Складання з'єднань бандаж-центр проводять з натягом 1,0...1,4 мм і з використанням нерівномірного нагрівання бандажа по поверхні катання до 320 °С, наступної його витримки й вирівнювання температури до 240...255 °С. Після складання бандажа з центром колісним установлюють кільце бандажне й проводять його заочування. Дані експлуатації використовуваних коліс свідчили про наявність рекламцій, наприклад, у ряді випадків повертання бандажа щодо центра колісного й тріщини спиць [1, 2, 3]. Для створення сучасної конструкції колісних пар Розпорядженням Кабінету Міністрів України від 9.11.1992 р. № 736-р. передбачалося розробити перспективну технологію складання комбінованим термічним способом з'єднань бандаж-центр [1, 2, 4], що вимагає проведення досліджень технологічних складальних параметрів і НДС елементів колеса.

Дослідження включали визначення НДС бандажа й центра при дії на них максимального перепаду температур попереднього нагрівання й охолодження, які забезпечують збільшення посадкового діаметра бандажу й зменшення посадкового діаметра колісного центру перед їхнім складанням. Ці дослідження

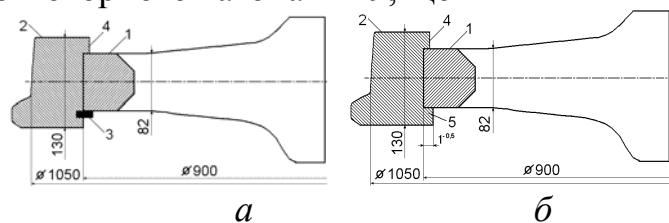


Рис. 1. Фрагменти існуючої (а) і запропонованої (б) конструкцій колеса моторного вагона: ЕР-9: 1 – центр колісний; 2 – бандаж; 3 – кільце бандажне; 4 – бурт упорний; 5 – буртик

проводилися при складанні бандажа з центром з максимальним складальним натягом 1,4 мм. Для забезпечення складання з'єднань з цим натягом і проведення досліджень НДС були розраховані з використанням розроблених розрахункових моделей значення температур нагрівання бандажа й охолодження центра, які дозволять здійснити складання з термічним складальним зазором. При проведенні досліджень при різних варіантах температур попереднього нагрівання й охолодження бандажа й центра також фіксувалися енерговитрати, які розраховувалися з використанням розробленого програмного комплексу для вибору варіанту енергозберігаючого складання [5].

Для досліджень застосовували бандажі й центри, які виготовлялися в умовах ВАТ "Київський ЕВРЗ" з точністю й шорсткістю обробки відповідно до технічних умов підприємства на механообробку (шорсткість обробки посадкової поверхні бандажа й центра колісного становила $Ra=3,2$ мкм).

Спочатку визначали розрахунковим методом температури нагрівання бандажа й охолодження центра, потім розраховували значення НДС при складанні коліс застосовуваної конструкції при різних значеннях температури деталей, що сполучаються, перед їхнім складанням і після вирівнювання температури з'єднання до температури навколишнього середовища (20...22 °С). Були передбачені три варіанти порівняльних досліджень НДС при різному сполученні температур нагрівання бандажа й охолодження центра, наведені в табл. 1, 2.

Після вимірювання конструктивних параметрів бандажі нагрівали на індукційному нагрівачі, а центри охолоджували рідким азотом у спеціальній холодильній камері [1, 2]. Потім за отриманими значеннями температури були виконані розрахунково-експериментальні дослідження НДС складеного колеса й витрат енергії з використанням методу скінчених елементів (МСЕ). Експериментальні дані розподілу температур у центрі та розрахункові значення максимальних напружень при його охолодженні наведені в табл. 1, а результати розрахунково-експериментальних досліджень НДС бандажа при його нагріванні в умовах ВАТ "Київський ЕВРЗ" і витрат енергії наведені в табл. 2.

Таблиця 1- Експериментальні дані розподілу температур в центрі колісному та розрахункові значення максимальних напружень при його охолодженні

Варіанти розподілу температури	№ термопар, що встановлені в центрі колісному [6]							Максимальні напруження в зоні галтелей, МПа		
	8	6	5	4	3	2	1	Еквівалентні σ_e	Окружні σ_θ	Радіальні σ_r
	Температура (°C) в місцях установки термопар вздовж радіусу центра									
1	-185	-185	-195	-195	-195	-195	-195	80	-80	40
2	20	20	20	20	20	20	20	0	0	0
3	0	0	-100	-195	-195	-195	-195	150	-200	80

Таблиця 2 - Результати експериментальних досліджень НДС бандажа при його нагріванні перед складанням

Варіанти нагрівання	Температура (°C) в місцях установки термопар 1, 11 и 111 [6]			Переміщення на посадковому діаметрі, мкм	Напруження, МПа			Затрати енергії, кДж
					Радіальні σ_r	Окружні σ_θ	Еквівалентні σ_e	
	1	11	111					
1	190	250	296	1330	0...5	-160	19...15	29,352
2	225	296	320	1362	0...5	-166	282...162	30,697
3	240	256	255	1240	0...3	-30	30	27,856

Установлено, що при охолодженні колісного центра до температур -185...-195 °C (варіант 1, див. табл. 1 і табл. 2) напруження становлять 0...80 МПа, тому що розподіл температури в його тілі практично близький до рівномірного. Найбільші напруження спостерігаються в колісному центрі в процесі його охолодження з інтервалом розподілу температур -100...-195 °C (див. варіант 1, табл. 1 і табл. 2).

На основі отриманих результатів (табл. 2) установлено, що найбільші напруження спостерігаються при нерівномірному нагріванні бандажа до 225...320 °C, що застосовується в складальному виробництві (варіант 2).

Однак значення напружень не перевершують механічні характеристики [ДЕРЖСТАНДАРТ 1435- 99] матеріалу бандажа сталь бандажна марки П [ДЕРЖСТАНДАРТ 398- 2010]. Переміщення при нагріванні до 190-296 °C (варіант 1) вище, ніж при нагріванні до 240-255 °C (варіант 3), що говорить про доцільність збирати колеса при нерівномірному нагріванні до температур 190-296 °C (варіант 1).

Розглянемо вплив на НДС бандажа при 3 запропонованих варіантах його нагрівання перед складанням (див. табл. 1). Результати проведених розрахунків розподілу температур у бандажі й НДС при його нагріванні зведені в табл. 3.

Таблиця 3-Температури в місцях установки термопар і напруження в бандажі при його нагріванні

Варіант	Температура (°C) в місцях установки термопар (1, 11 и 111) [6]			Напруження в бандажі, МПа		
	111	11	1	Еквівалентні σ_e	Окружні σ_θ	Радіальні σ_r
1	79	87	106	4...40	0...10	0...5
2	256	289	364	135...190	125...181	0...5
3	120	132	161	70...130	128...-135	0...5

Результати розрахунків показують (табл. 3), що при нерівномірному максимальному нагріванні бандажа (температура змінюється в інтервалі 256...364 °C) під складання по 2-ому варіанту мають місце найбільші окружні й

еквівалентні напруження. У цілому, як показали результати досліджень, зниження температури нагрівання бандажа в інтервалі 120...161 °С і охолодження колісного центра в інтервалі температур -100...-195 °С дозволяють знижувати рівень їх НДС.

Слід також зазначити, що виконані при дослідженні НДС розрахунки енерговитрат показали (табл. 4), що застосування часткового охолодження центра (обода й шпиць – варіант 3) і нерівномірного нагрівання бандажа забезпечать найменші витрати енергії при КТСС, що дозволяє рекомендувати такий режим нагрівання й охолодження деталей, що сполучаються.

Таблиця 4- Витрати енергії при зборці бандажа з центром при різних режимах їх нагрівання та охолодження

Варіанти складання	Витрати енергії, МДж		
	Нагрівання бандажа	Охолодження центра	Сумарні витрати
1	8,1	29,3	37,4
2	32,5	0	32,5
3	12,3	18,7	31,0

Таким чином, результати проведених досліджень НДС деталей, що сполучаються, підданих попередньому термовпливу, дозволяють рекомендувати раціональне поєднання зниженого нагрівання й охолодження при складанні з'єднань бандажа й центра, для використання на виробництві. Однак ухвалення рішення про вибір температур нагрівання й охолодження при КТСС нових складених коліс (див. рис. 1, б) вимагає проведення досліджень НДС у процесі формування натягу й після остаточного вирівнювання температури виробів. Тому були проведені розрахунково-експериментальні дослідження НДС при формуванні складених коліс рекомендованої конструкції (див. рис. 1, б) з максимальним натягом 1,4 мм і використанні нагрівання в інтервалі 230...270 °С і охолодження колісного

центра (шпиць і обода) в інтервалі температур -100...-195 °С. З метою дослідження фізики формування зони контакту бандажа з центром і НДС проведені дослідження характеру зміни температур і контактного тиску за часом. При цьому встановлено (рис. 2), що розподіл температур є нерівномірним у радіальному напрямку. У початковий момент складання температура в зоні контакту змінюється рівномірно (прямі 1...3). Потім спостерігається більш інтенсивний теплообмін у радіальному напрямку в зоні шпиць центра й

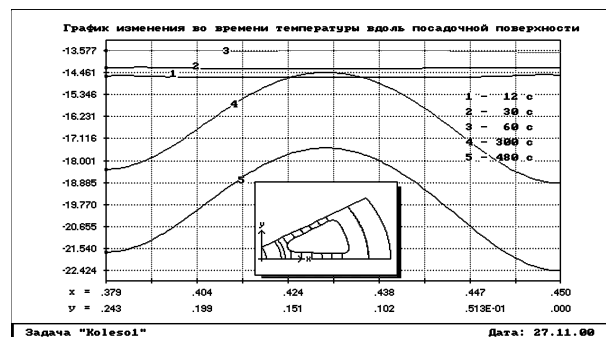


Рис. 2. Графік зміни температур уздовж посадкової поверхні в процесі формування зони контакту

бандажа (криві 4 і 5).

Установлено, що уздовж посадкової поверхні відбувається місцевий початковий контакт бандажа з центром колісним на рівні шпичь (рис. 3). При цьому початковий контактний тиск становить - 231,33 МПа. У міру вирівнювання й перерозподілу температури при формуванні зони контакту контактні тиски перерозподіляються й знижуються

приблизно до -60...-62 МПа.

При цьому в середній частині з'єднання контактний тиск становить біля - 118...-119 МПа. У початковий момент (на 1 с) скріплення деталей окружні напруження мінімальні на рівні між шпичцями центра колісного й становлять біля -95 МПа, а на рівні шпичь -111...-112 МПа.

На рис. 3 показано динаміку зміни контактного тиску на посадковій поверхні з'єднання при формуванні зони контакту, а на рис. 4 показані ізополоси розподілу еквівалентних напружень на поверхні з'єднання бандаж-центр після вирівнювання температури з'єднання до температури навколишнього середовища. При цьому встановлено, що після вирівнювання температури максимальні напруження 239...265 МПа мають місце в зоні контакту на рівні між шпичцями колісного центра й у галтелях переходу від шпичь до обода центра колісного.

Висновки

1. КТСС дозволяє вибирати раціональні значення температури нагрівання бандажа й низькотемпературного охолодження центра колісного з урахуванням зниження НДС і енерговитрат:

- при охолодженні центра колісного найбільший рівень еквівалентних напружень спостерігається в зоні галтелі переходу від шпичі до обода (200...300 МПа) і в середній частині шпичь (200...240 МПа), однак ці напруження не перевищують механічні характеристики його матеріалу;

- найбільші напруження спостерігаються при нерівномірному нагріванні бандажа до 225...320 °С, що застосовується в реальному складальному виробництві. Нерівномірне нагрівання бандажа до рекомендованої температури 190...296 °С, дозволяє знизити напруження.

2. Установлено раціональні інтервали температури нагрівання бандажа 120...161 °С і охолодження колісного центра до -100...-195 °С при складанні з'єднань з натягом способом КТСС. Підтверджено, що при складанні з'єднань з заданим складальним натягом після вирівнювання їхньої температури НДС при

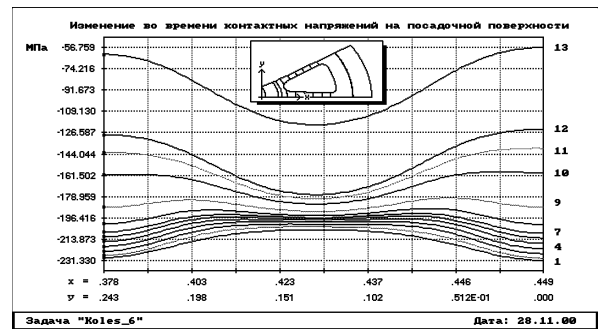


Рис. 3. Характер зміни значень контактного тиску на посадковій поверхні з'єднання

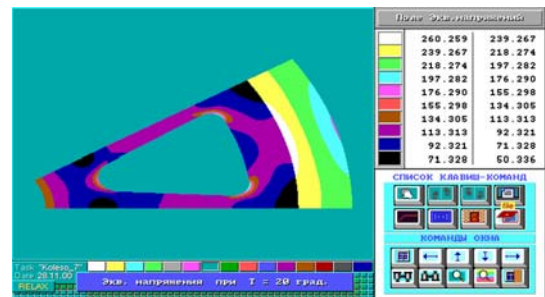


Рис. 4. Ізополоси еквівалентних напружень на поверхні з'єднання бандаж-центр після вирівнювання температури з'єднання до 20...22 °С

взаємозалежному поєднанні зниження температур нагрівання й охолодження залишається постійним.

3. Проведені дослідження дозволяють рекомендувати запропоновані конструкцію складеного колеса й технологічні параметри при створенні технології якісного складання з'єднань з натягом бандаж-центр комбінованим термічним способом [7].

Список літератури: 1. *Оборський І.Л.* Нова конструкція і технологія з'єднання бандаж-центр колеса електровагона. // Залізнич. транспорт України. – 2003. – № 5. – С. 9-10. 2. *Оборський І.Л.* Усовершенствование конструкции и технологии сборки составного колеса. Залізнич. транспорт України. – 2006. – № 1. – С. 49-51. 3. Патент України № 46548 А, МПК⁷ В23 Р 19/02, МПК⁷ В23 Р 11/02. З'єднання деталей з натягом і спосіб його здійснення. / *І.Л. Оборський, А.С. Зенкін, Б.М. Арпент'єв, В.Г. Кантур та інші.* – № 2001085678; Заявлено 09.08.2001; Опубл. 15.05.2002. Бюл. №5. 4. Патент України №59676А, МПК⁷ В60В17/00. Бандаж колеса. / *І.Л.Оборський* – № 2002119084; Заявлено 15.11.2002; Опубл. 15.09.2003. Бюл. №9. 5. *Оборський І.Л.* Определение конструктивно-технологических параметров и проектирование рациональной технологии сборки соединений с натягом / *И.Л. Оборский, А. Н Демковский, Д.Н. Хоменко, Н.И. Оборская* // Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej, Nr. 279. Mechanika, z. 83 (nr 1/2011). Technika i technologia montazu maszyn. – Rzeszow.– 2011. – С. 171 – 177. 6. *Оборський І.Л.* Исследование напряженно-деформированного состояния спицевого колеса электровагона при сборке комбинированным термическим способом. / *И.Л. Оборский, А.С. Зенкин, А.Г. Андреев, А. И. Щепкин* // Сборка в машиностроении, приборостроении. - М.: Машиностроение, 2002. № 8.- С. 14-16. 7. *Оборський І.Л.* Исследование и разработка конструктивно-технологических параметров сборки крупногабаритных соединений с натягом / *И.Л. Оборский, А.С. Зенкин, А.Г. Андреев, А. В. Щепкин, А.П. Звонарева* // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. – К.: КНУТД. – 2012. – № 3. – С. 94-100.

Поступила в редколлегию 12.06.2012

УДК 621.774

А.И. ДОЛМАТОВ, докт. техн. наук, проф., НАКУ им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков,

И.А. ЖДАНОВ, заместитель директора ГП ХМЗ «ФЭД», Харьков

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ГИБКИ ТРУБОПРОВОДОВ В УСЛОВИЯХ КОМБИНИРОВАННОГО НАГРУЖЕНИЯ

В работе рассмотрены результаты экспериментальных исследований изменения толщины стенки на внутренней и внешней сторонах трубы и деформация поперечного сечения трубы в процессе сгибания под воздействием различных видов нагрузки: с приложением осевого усилия, внутреннего давления и комбинации осевого усилия и внутреннего давления.

Ключевые слова: гибка, утонение и утолщение стенок, овальность сечения, высота стенок, гофрообразование, минимальный радиус изгиба

В роботі розглянуті результати експериментальних досліджень зміни товщини стінки на внутрішній і зовнішній сторонах труби і деформація поперечного перерізу труби в процесі згинання під впливом різних видів навантаження: з додатком осевого зусилля, внутрішнього тиску і комбінації осевого зусилля і внутрішнього тиску.

Ключові слова: гнуття, стоншення і стовщення стінок, овальність перетину, товщина стінок, гофроутворення, мінімальний радіус вигину.

The paper discusses the results of experimental studies of changes in wall thickness on the inner and outer sides of the pipe and the pipe cross-sectional distortion in the process of bending under the influence of different types of loading: the application of axial force, internal pressure and a combination of axial force and internal pressure.

Key words: tube bending, decrease of width of a walls and a swelling of walls, ovality of cross-section, altitude of walls, wrinkling, minimum radius of a bending.

Анализ проблемы. Одним из наиболее проблемных процессов, требующих особого внимания при подготовке производства аэрокосмической техники является гибка труб, поскольку она характеризуется значительными искажениями формы и толщины стенки, потерей устойчивости и т.д. Среди направлений обеспечения высокой точности конструкции трубопроводов, предотвращения появления гофров, искажения формы в настоящее время является внедрение технологий с использованием дополнительных нагрузок, таких как осевые усилия и внутреннее избыточное давление. Комбинация нескольких видов дополнительного нагружения в процессе гибки позволяет не только минимизировать такие негативные последствия, как складкообразование, искажение формы, утонение стенок, но и существенно снизить стоимость матриц, что делает данный подход к решению вопросов проектирования технологических процессов одним из наиболее перспективных. Однако широкому внедрению данных методик в серийное производство препятствует отсутствие единых технологических рекомендаций и эффективных инструментов априорной оценки правильности принятых решений, что подчёркивает актуальность данных исследований.

Авторами была методика, реализующая комплексный подход к проектированию процесса гибки. В частности, предложена математическая модель для расчёта утонения стенок и искажения поперечного сечения при гибке труб с использованием комбинированного дополнительного нагружения: внутреннего давления и осевого растяжения. Одним из ключевых шагов в данном направлении является получение экспериментальных данных о распределении толщины трубы и искажения поперечного сечения трубы в процессе гибки под воздействием различных факторов. В частности, одной из актуальных задач является проведение комплексных экспериментальных исследований для различных условий нагружения: с приложением осевого усилия, внутреннего давления и комбинации осевого усилия и внутреннего давления.

Постановка задачи и цели исследования. Целью данного исследования является получение экспериментальных данных о распределении толщины трубы и искажения поперечного сечения трубы в процессе гибки под воздействием различных факторов. Для достижения этой цели необходимо решение ряда задач: проведение комплексных экспериментальных исследований влияния различных видов нагружения (с приложением осевого усилия, внутреннего давления и комбинации осевого усилия и внутреннего давления) на изменение толщины стенки на внутренней и внешней сторонах трубы и на искажение поперечного сечения трубы.

1. Выбор исходных данных

Для определения минимального радиуса, при котором есть опасность возникновения гофров, воспользуемся методикой, описанной [1].

Авторами [1] на основании энергетического подхода был разработан критерий гофрообразования на примере изгиба листа двойного кривизны. Критическое напряжение изгиба рассматривалось как функция местной кривизны, свойств материала, геометрических размеров и коэффициента асимметрии. Энергетический метод широко использовался Тимошенко [2] для изучения упругого изгиба тонких пластин и оболочек с различными граничными условиями. Согласно данного энергетического подхода критические условия потери устойчивости оценивалось при сравнении внутренней энергии искривлённой плоской пластины ΔU и работы, проделанной силами плоской мембраны ΔT . Следовательно, условие устойчивости выражено как

$$\Delta T \leq \Delta U. \quad (1)$$

Типичная труба, как показано на рисунке 1, имеет отношение диаметра трубы $(2r)$ к толщине трубы (t) больше чем 10, и изгибается вокруг изгибного штампа с радиусом R_d , что допускает использование теории оболочек. Оправка обеспечивает почти идеальные условия зажима, и поэтому труба рассматривается, как зажатый изогнутый лист в (α_1, α_2) и (θ_1, θ_2) в двух направлениях, как показано на рис. 1. Энергия $\Delta T = \Delta U$ дает решение для критического условия возникновения складок. В случае, если ΔT меньше, чем ΔU для всех допустимых отклонения формы, отсутствие складок будет развиваться в этих условиях изгиба, т.е. радиус изгиба R_d .

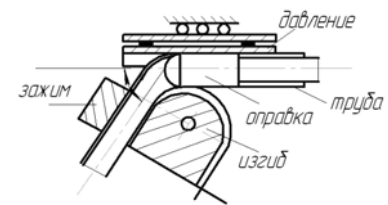


Рис. 1. Схематическая модель изогнутого листа

Критическое состояние соответствующее началу гофрообразования определяется как:

$$\Delta = \left(I_{n2} + \frac{12}{t^2} I_{\alpha} \right)^2 - 4^* I_{n4}^* \left(I_{n0} + \frac{12}{t^2} I_{\theta} \right) \geq 0 \quad (2)$$

Уравнение (2) при $\Delta = 0$ дает минимально возможный радиус штампа R_{dcr} . Соответствующее число волн рассчитывается как критическое число волн

$$n_{cr} = \sqrt{\left(I_{n2} + \frac{12}{t^2} I_{\alpha} \right) / 2 I_{n4}} \quad (3)$$

где

$$I_{\theta} = \int_0^{\pi} \frac{6R'\Delta\alpha}{r} \sin^2 2\theta \sigma_{\theta} d\theta \quad (4)$$

$$I_{\alpha} = \int_0^{\pi} \frac{2\pi^2 r}{\Delta\alpha R'} (1 - \cos 2\theta)^2 \sigma_{\alpha} d\theta \quad (5)$$

$$I_{n4} = \int_0^{\pi} \left(\frac{8\pi^4 r}{R'^3 \Delta\alpha^3} (1 - \cos 2\theta)^2 \right) \bar{L}_{3333} d\theta \quad (6)$$

$$I_{n2} = \int_0^{\pi} \left[\left(-\frac{8\pi^2 \cos \theta}{R' r \Delta\alpha} (1 - \cos 2\theta) \sin 2\theta \cos \theta \right) \bar{L}_{3333} + \left(\frac{16\pi^2}{r R' \Delta\alpha} \cos 2\theta (1 - \cos 2\theta) \right) \bar{L}_{2233} + \frac{8\pi^2 r}{R' \Delta\alpha} \left(\frac{2}{r} \sin 2\theta + \frac{\cos \theta}{R'} (1 - \cos 2\theta) \right) \bar{L}_{2323} \right] d\theta \quad (7)$$

$$I_{\pi 0} = \int_0^{\pi} \left(\left(\frac{24R'\Delta\alpha}{r^3} \cos^2 2\theta + \frac{18R'\Delta\alpha}{t^2 r} (1 - \cos 2\theta)^2 \right) \bar{L}_{2222} + \left(\frac{6R'\Delta\alpha \sin^2 2\theta \cos^2 \theta}{r^3} + \frac{18r\Delta\alpha (1 - \cos 2\theta)^2}{t^2 R'} \right) \bar{L}_{3333} + \left(\frac{12R'\Delta\alpha \cos \theta \sin 4\theta}{r^3} + \frac{18\Delta\alpha}{t^2} (1 - \cos 2\theta)^2 \right) \bar{L}_{2233} \right) d\theta \quad (8)$$

С использованием данной методики были проведены расчёты для изгиба трубы из нержавеющей стали 12Х18Н10Т.

Материал – нержавеющая сталь 12Х18Н10Т, $\sigma_B=529$ МПа, $E=178$ ГПа, коэффициент Пуассона – 0,3. Наружный диаметр трубы – 24 мм, толщина стенки – 2,5 мм. Как свидетельствуют результаты расчётов, критический диаметр для изгиба трубы при данных условиях составляет 43,8 мм. Согласно технологических рекомендаций, используемых в серийном производстве трубопроводов для газотурбинных двигателей, диаметр матрицы должен быть не менее 48 мм. Однако, данные рекомендации учитывают наличие запаса устойчивости.

В соответствии с этими данными, была использована матрица с малым радиусом, гибка на которой могла вызвать появление гофров: диаметр матрицы – 44 мм.

Для проведения экспериментальных исследований был использован модернизированный станок для холодной гибки труб КМ-А130CNC, который может работать с трубами из нержавеющей стали диаметром до 139,7 мм и толщиной стенки до 3 мм и снабжён специальным приводом, позволяющим создавать осевое растягивающее усилие до 18 кН, что позволяет выполнять гибку труб с растяжением. Данный станок был модернизирован для реализации процесса гибки труб в условиях действия внутреннего давления. Для этого концы труб были герметизированы и снабжены патрубком для подачи внутрь жидкости под давлением до 8,5 МПа.

2 Анализ данных по влиянию комбинированного нагружения на параметры изделий

В первой серии экспериментов было проанализировано влияние осевого растяжения. Как свидетельствуют результаты экспериментов, с приложением осевого усилия величиной 11 500 Н к концу трубы вблизи обжимной матрицы образование гофров фиксировалось лишь на 8% образцов. Тогда как при гибке без приложения осевого усилия в 83% случаев наблюдалось появление гофров. Всего было испытано по 12 образцов для каждого из методов гибки.

Усреднённые данные по определению толщины стенки и искажения поперечного сечения моделированием МКЭ и с использованием аналитической модели, а также полученные в результате экспериментов, показаны на рис. 2...5. Как свидетельствуют приведенные данные, аналитическая модель даёт несколько завышенное значение утонения стенки по сравнению с моделированием методом конечных элементов и экспериментальными данными.

Данный процесс продемонстрировал хорошие результаты применения данного вида дополнительного нагружения с точки зрения образования гофров. Однако приложение осевого растяжения привело к существенному искажению формы поперечного сечения (овальность составила до 12,2% при прогнозировании с использованием методом конечных элементов, до 9,4% при

использовании аналитической модели, а по результатам анализа экспериментальных данных – до 11,5%).

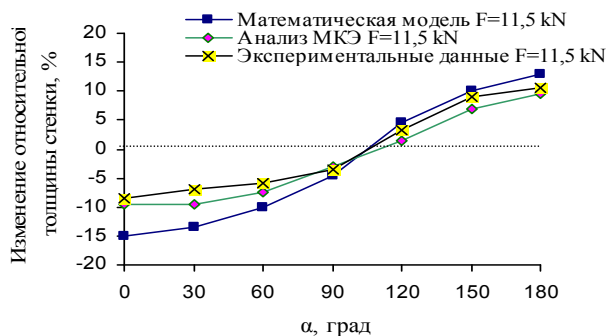


Рис. 2. Изменение относительной толщины стенки, полученное при воздействии осевого растяжения в отсутствии внутреннего давления ($P_i=0$)

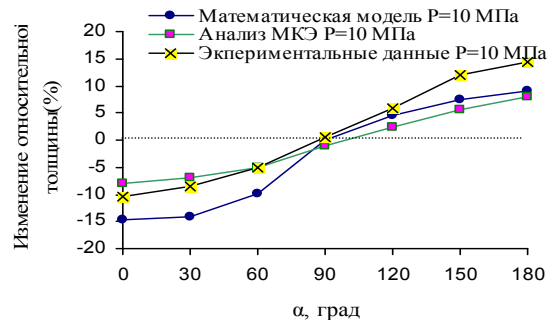


Рис. 3. Изменение относительной толщины стенки, полученное при воздействии внутреннего давления в отсутствии осевого растяжения ($F=0$)

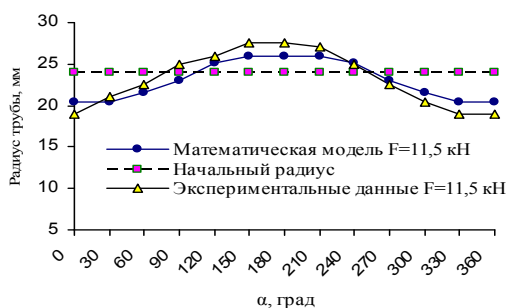


Рис. 4. Изменение радиуса трубы, полученное при отсутствии внутреннего давления ($P=0$)

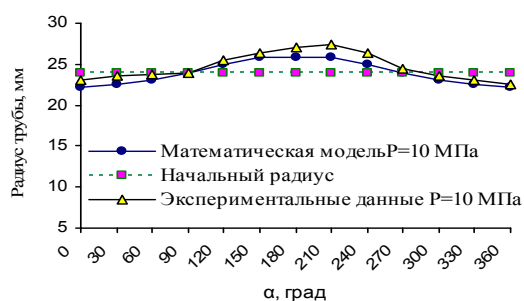


Рис. 5. Изменение радиуса трубы, полученное при отсутствии осевого растяжения ($F=0$)

Как показали проведенные исследования, для предотвращения складкообразования и уменьшения искажения поперечного сечения должно быть приложено внутреннее давление порядка 8 МПа.

Для анализа влияния величины приложенного осевого усилия на толщину стенки был проведен ряд исследований, где величина осевого усилия варьировалась от 11500 до 17500 Н.

Как свидетельствуют результаты, с наружной и внутренней сторон изгиба толщина стенки уменьшается с ростом величины осевого растяжения. В обоих случаях изменение толщины стенки происходит по закону, близкому к линейному, о чём свидетельствуют как результаты, полученные с использованием аналитической модели, так и данные, полученные экспериментальным путём. Как видно из приведенных зависимостей, процесс гибки характеризуется несколько большей скоростью утонения стенки с внутренней стороны изгиба по сравнению с внешней, при увеличении осевого растяжения.

При сочетании осевого растягивающего усилия и внутреннего давления обеспечивается отсутствие гофрообразования и минимальное искажение формы поперечного сечения, однако имеет место существенное утонение стенки.

Как видно из приведенных данных, толщина стенки на внутренней стороне изгиба уменьшается с ростом внутреннего давления. На рисунках 6 и 7 показано изменение максимальной толщины стенки с ростом давления и изменение

минимальной толщины стенки с изменением внутреннего давления соответственно.

Как свидетельствуют результаты исследований, толщины стенки на внутренней и наружной сторонах изгиба уменьшаются с ростом внутреннего давления. И в обоих случаях изменение толщины стенки подчиняется закону, приближающемуся к линейному.

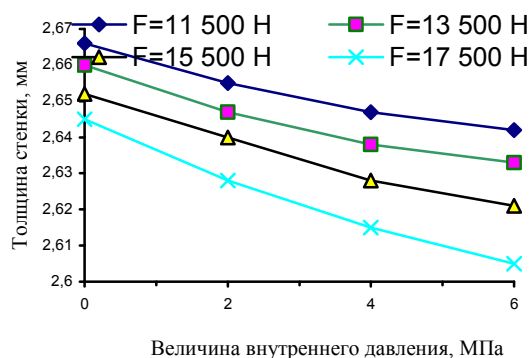


Рис. 6. Максимальная толщина стенки на внутренней стороне изгиба при воздействии растягивающего усилия и внутреннего давления

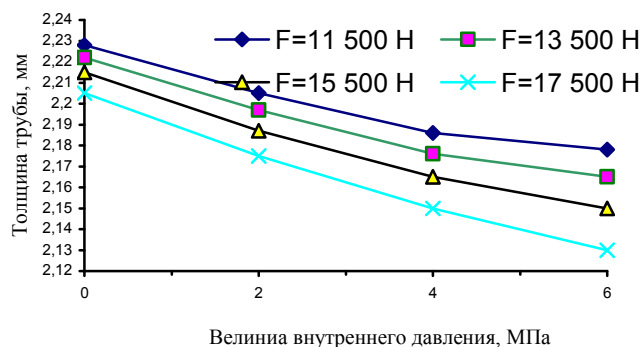


Рис. 7. Минимальная толщина стенки на внешней стороне изгиба при воздействии растягивающего усилия и внутреннего давления

По результатам исследований можно сделать следующее заключение: гибка лишь с внутренним давлением и гибка с растяжением и внутренним давлением уменьшает искажение поперечного сечения и уменьшает толщину стенки на внутренней стороне изгиба, тогда как при одновременном воздействии осевого растяжения и внутреннее давление образования складок можно избежать, и форма поперечного сечения трубы будет близка к кругу, но будет иметь место большее утонение, по сравнению с гибкой только с внутренним давлением.

Как показал анализ данных, приведенных на рисунках 6...8, наиболее оптимальным вариантом с точки зрения соотношения «утонение стенки» / «овализация», а также с учётом технологической сложности обеспечения заданных параметров нагружения в условиях серийного производства, является случай, когда труба изгибается при воздействии комбинированного нагружения: внутреннее давление – 4 МПа, осевое растяжение – 15,5 кН. Для проверки данных, полученных с использованием аналитической модели, был проведен натурный эксперимент.

Выводы.

1. Проведены экспериментальные исследования процессов гибки труб в условиях действия единичного или комбинированного дополнительного

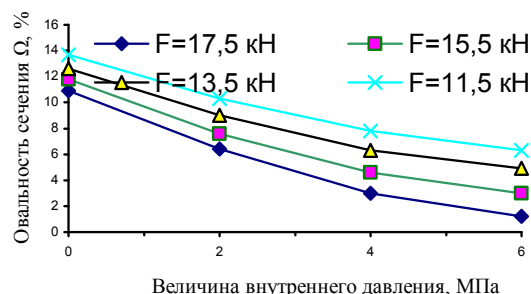


Рис. 8. Овальность сечения при воздействии растягивающего усилия и внутреннего давления

нагружения с использованием анализа с применением аналитической модели и метода конечных элементов.

2. Исследования применения осевого растяжения образцов (11,5 кН) показали хорошие результаты с точки зрения предотвращения образования гофров, однако приложение осевого растяжения привело к существенному искажению формы поперечного сечения (овальность составила до 12,2% при прогнозировании с использованием методом конечных элементов, а по результатам анализа экспериментальных данных – до 11,5%).

3. Как свидетельствуют результаты экспериментов, эффективным средством для уменьшения искажения поперечного сечения является использование внутреннего давления.

4. Проведенный анализ влияния комбинированного нагружения на утонение стенок и степень искажения формы поперечного сечения позволил определить оптимальные параметры нагружения с точки зрения соотношения «утонение стенки»/«овализация», а также с учётом технологической сложности обеспечения заданных параметров нагружения в условиях серийного производства.

Список литературы: 1. *Wang X. Wrinkling Limit in Tube Bending / X. Wang, J. Cao // Journal of Engineering Materials and Technology.- 2001.- №123(4).- pp. 430-435.* 2. *Timoshenko S. Theory of Elastic Stability / Timoshenko S.- 1961.- McGraw-Hill, New York.*

УДК 004:687.01

В.В. ЗАЛКІНД, канд. техн. наук, доц., УПА, Харків,
О.І. КОСЕНКО, ст.преп., УПА, Харків

ВИЗНАЧЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ОПТИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Дана загальна характеристика способів визначення оптичних властивостей текстильних матеріалів. Обґрунтована доцільність використання інформаційних технологій при визначенні характеристик оптичних властивостей тканин.

Ключові слова: матеріалознавство, текстильні матеріали, оптичні властивості тканин, інформаційні технології.

Дана общая характеристика способов определения оптических свойств текстильных материалов. Обоснована целесообразность использования информационных технологий при определении характеристик оптических свойств ткани.

Ключевые слова: материаловедение, текстильные материалы, оптические свойства ткани, информационные технологии.

In the present paper we give the general description of methodologies for determination of optical characteristics of textile materials. We also justify the efficiency of information technologies in the determination of optical characteristics of fabrics.

Keyword: material science, textile materials, optical characteristics of fabrics, information technologies.

Вступ

Проектування одягу базується на декількох складових, одна з яких – матеріалознавство. Адже властивості тканин мають безпосередній вплив на кінцевий результат, а вміння правильно визначити їх якість стає показником кваліфікації будь-якого спеціаліста швейної галузі.

Згідно [1], велике значення для естетичного сприйняття швейного виробу мають оптичні властивості матеріалу, а саме їх здатність кількісно та якісно змінювати потік світла. В результаті проявляються такі властивості тканин, як колір, блиск, білизна, прозорість тощо.

Незважаючи на розвиток прогресу, на текстильних і швейних підприємствах для оцінки якості матеріалів, використовують візуальний спосіб оцінки оптичних властивостей текстильних матеріалів, який полягає в порівняння з еталоном. Проте, такий спосіб достатньо суб'єктивний.

Сучасні навчальні посібники пропонують визначення характеристик оптичних властивостей текстильних матеріалів, за допомогою фотоелектричного блискоміру ФБ-2. Відомий спосіб полягає в тому, що ступінь блиску текстильних матеріалів визначають, як “відношення потоку випромінювання відбитого світла матеріалом або виробом до потоку випромінювання надхідного світла”[2].

Інший спосіб полягає в перетворенні різниці в кольорі досліджуваних текстильних матеріалів в різницю електричного струму та відповідне визначення характеристик оптичних властивостей текстильних матеріалів за допомогою електронного компаратору кольору ЕКЦ-1 [3].

Вочевидь, що основними недоліками цих способів є складність обладнання та самого процесу визначення оптичних властивостей текстильних матеріалів. Тому, постало питання про більш простий шлях вирішення цього завдання, особливо враховуючи рівень розвитку інформаційних технологій.

Результати досліджень

Перед авторами було поставлене завдання по вдосконаленню існуючих способів оцінки оптичних властивостей текстильних матеріалів. Було запропоновано використання іншого технічного засобу, а саме цифрового фотоапарату, що відповідає досягненням науково-технічного прогресу та дає змогу визначити кількісні характеристики оптичних властивостей текстильних матеріалів [4].

Задача вирішується таким чином: за допомогою цифрового фотоапарату отримують фотографічне зображення зразків текстильного матеріалу на білому фоні (білий колір фону необхідний для визначення балансу білого при подальшій комп'ютерній обробці).

Відчуття кольору дуже суб'єктивне, але сучасні інформаційні технології пропонують вимірювати кольори числовими значеннями. Ці значення не є безпосередньо кольорами – вони лише описують колір в кольоровому просторі. На сьогодні, існує де-кілька кольорових моделей, за допомогою яких це можливо зробити. Незважаючи на кольорову модель принцип визначення характеристик оптичних властивостей текстильних матеріалів однаковий. Він полягає в відповідному розрахунку кількісних характеристик оптичних властивостей текстильних матеріалів за формулою:

$$K = \frac{|\Delta I|}{I_1} = \frac{|I_2 - I_1|}{I_1},$$

де K - відносна оптична характеристика текстильних матеріалів;

ΔI - модуль різниці між оптичними характеристиками зразків текстильного матеріалу;

I_1 - оптична характеристика 1-го зразку текстильного матеріалу;

I_2 - оптична характеристика 2-го зразку текстильного матеріалу.

В якості приклада, розглянемо здатність текстильного матеріалу змінювати світловий потік, який падає на її поверхню.

Для експерименту були використані 4 зразки текстильних матеріалів. Кожний них був представлений в 2-х екземплярах, які були розташовані на стенді білого кольору таким чином, що нитки основи знаходились під кутом 90 градусів один до одного. Джерело світла забезпечило однакове освітлення обох.

Для фотозйомки використовували фотокамеру Olympus E-3. Умови фотозйомки, а саме експозиція, забезпечили нормальне експонування зображення, для чого використовувався вбудований експонетр камери. Усі зображення були отримані при однаковій діафрагмі f8. Значення світлочутливості

було підібрано так, щоб мінімізувати величину цифрового шуму, при дотриманні нормальної експозиції. В даному випадку світлочутливість складала ISO 400.

Для вимірювання кута нахилу камери (відносно вертикального стенду) використовувався рівень та транспортир.

Таким чином, на рис.1 представлений приклад дослідження текстильного матеріалу, причому верхній ряд фотографій відповідав

горизонтальному положенню нитки основи, нижній – вертикальному.

При фотографуванні тканин під прямим кутом була відсутня різниця в відтінках, але при зміні кута осі камери відносно площини тканини з'являлась різниця в відтінках. Тому, фотографування відбулось для кутів між камерою та зразками від 30° до 70° (зліва – направо).

Для кількісної оцінки різниці в кольоровому тоні, було використане програмне забезпечення з відкритим кодом GIMP.

За допомогою інструменту Color Picker визначили колір в даній області зображення, згідно шкали HSV (Hue-Saturation-Value).

Значення яскравості (Value) були усереднені по достатньо великій області для підвищення точності та вирівнювання флуктуацій кольору. В нашому випадку використовувалася область 100×100 пікселів. В результаті було отримане різне для 4-х видів текстильних матеріалів (рис.2).

Аналіз показав, що існує зв'язок оптичними властивостями тканини, її структурою та



Рис. 1. Дослідження різновідтіночності

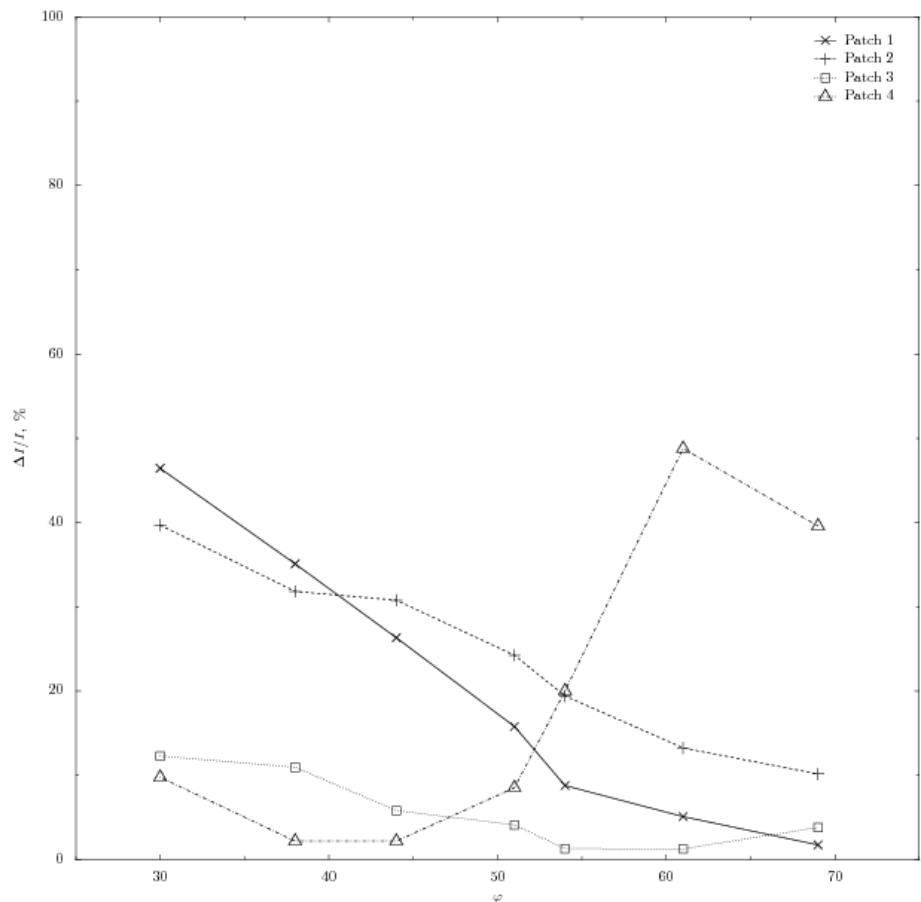


Рис. 2. Графік зміни різновідтінковості

складом. Але відсутність прямої математичної залежності між зміною відтінку тканини та кутом зйомки свідчить про необхідності подальших досліджень з метою виявлення закономірностей.

Висновки

Застосування розробленого способу визначення характеристик оптичних властивостей текстильних матеріалів дає можливість дослідити здатність різноманітних матеріалів кількісно та якісно змінювати потік світла, який падає не її поверхню.

Це створює передумови для моделювання різновідтінковості одягу, в залежності від форми.

Список літератури: 1. *Материаловедение швейного производства / Б.А. Бузов, Т.А. Модестова, Н.Д. Алыменкова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Легпромбытиздат, 1986.-424 с.* 2. *Енциклопедія швейного виробництва. Навчальний посібник – К.: “Самміт - книга”, 2010. – 968 с.: іл.* 3. *Жихарев А.П. Практикум по материаловедению в производстве изделий легкой промышленности: Учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / А.П. Жихарев, Б.Я. Краснов, Д.П. Петропавловский; Под ред. А.П. Жихарева. – М.: Издательский центр “Академия”, 2004. – 464 с.* 4. *Спосіб визначення оптичних властивостей текстильних матеріалів [Текст]: Патент на корисну модель № 63510 МПК7 G 01 N 21/89, 33/36/ Рябчиков М.Л., Залкінд В.В., Косенко О.І.; заявник та патентовласник Українська інженерно – педагогічна академія - № u201103315; заявл. 21.03.11; опубл.10.10.12, Бюл. № . – 3с.*

Поступила в редколегію 12.06.2012

УДК 531.7

О.В. БОРКОВСЬКИЙ, асис., НАУ, Київ,
Д.О. ШАФІГУЛІНА, студ., НАУ, Київ,
Д.І. КАРПЕНКО, студ., НАУ, Київ,
С.О. ФЕТІСОВ, студ., НАУ, Київ

ОБРОБКА ВІДЕОЗОБРАЖЕННЯ В КОМП'ЮТЕРИЗОВАНИХ СИСТЕМАХ ТЕХНІЧНОГО ЗОРУ ЗА ДОПОМОГОЮ СПЕЦІАЛІЗОВАНИХ ПРОГРАМНО-АПАРАТНИХ КОМПЛЕКСІВ

В даній статті розглянута можливість обробки статичних і анімованих зображень в програмному продукті Labview. Для обробки зображень служить базовий модуль NI Vision. Він містить набір оптимізованих функцій для роботи з кольоровим, чорно-білим, бінарним зображенням, включаючи фільтрацію, статистичні і геометричні зміни форми, зіставлення із зразком, вимірювання параметрів зображення. Комплект драйверів для роботи з відеокамерами NI IMAQ сумісний зі всім програмним забезпеченням National Instruments, включаючи NI DAQ. Це дозволяє легко інтегрувати роботу із зображенням в будь-який продукт National Instruments. Головна відмінна риса NI IMAQ – велика бібліотека спеціальних функцій. Серед них і шаблони настройки самих камер і функції виділення пам'яті, ініціації запуску і власне отримання зображення як в постійному режимі так і в режимі одного знімка.

Ключові слова: Labview, NI Vision assistant, NI DAQ, функціональна панель, піксель.

В данной статье рассмотрена возможность обработки статических и анимированных изображений в программном продукте Labview. Для обработки изображений служит базовый модуль NI Vision. Он содержит набор оптимизированных функций для работы с цветным, черно-белым, бинарным изображением, включая фильтрацию, статистические и геометрические изменения формы, сопоставление с образцом, измерение параметров

изображения.Комплект драйверов для работы с видеокамерами NI IMAQ совместим со всем программным обеспечением National Instruments, включая NI DAQ. Это позволяет легко интегрировать работу с изображением в любой продукт National Instruments. Главная отличительная черта NI IMAQ – обширная библиотека специальных функций. Среди них и шаблоны настройки самих камер и функции выделения памяти, инициации запуска и собственно получения изображения как в постоянном режиме так и в режиме одного снимка.

Ключевые слова: LabView, NI Vision assistant, NI DAQ, функциональная панель, пиксель.

This article described ability to handle both static and animated images in software complex Labview. For image processing usually used the basic module NI Vision. It contains a set of optimized functions for working with color, black and white binary image, including filtering, statistical and geometric changes in the shape, pattern matching, measuring the parameters of the image. The complete set of drivers for work with the video cameras NI IMAQ is compatible with all software National Instruments, including NI DAQ. It allows easily to integrate work with the image in any product National Instruments. Main distinguishing feature NI IMAQ – vast library of the special functions. Among them and templates of tuning of chambers and function of allocation of memory, initiations of start and actually receipt of image as in the permanent mode so in the mode of one picture.

Keywords: Labview, NI Vision assistant, NI DAQ, functional panel, pixel.

1. Вступ

Сьогодні високий рівень автоматизації різних сфер людської діяльності вимагає від комп'ютерних систем технічного зору не тільки швидко і точно виконувати обчислення, але також ефективно розпізнавати візуальну інформацію і на основі її аналізу вирішувати складні задачі управління та контролю геометричних параметрів.

Такі системи прийнято називати комп'ютеризованими системами технічного зору. В загальному вигляді вони представляють собою поєднану технологічну послідовність яка включає в себе наступні ланки:

- отримання зображення від відеокамери;
- обробку зображення;
- логічний аналіз цифрового зображення і виділення потрібної інформації.

Відеокамера і пристрій обробки зображення є головними складовими частинами подібних систем Комп'ютеризовані системи технічного зору (КСТЗ) призначені для використання на виробництві, в медицині і т.д., а також повинні відрізнятися високою продуктивністю, надійністю та гнучкістю.

2. Аналіз літературних досліджень та постановка проблеми

Цифрова обробка відео зображення з подальшим її аналізом є однією з прикладних задач КСТЗ. Ця задача вирішуються за допомогою відповідних пристроїв, модулів та програмного забезпечення (ПЗ). Виходячи зі складності вирішуваної задачі можуть використовуватися різні типи відеокамер та спеціалізованих плат відеозахвату. Таке різноманіття засобів дозволяє створювати системи з урахуванням конкретних вимог користувача та оптимізовані за вартістю.

Для вирішення задачі отримання зображення об'єкта інтересу, основною функцією відеокамери має бути вимірювання геометричних параметрів об'єкту.

Прикладом фізичних параметрів можуть слугувати лінійні розміри, діаметр, кривизна тощо.

Для задач контролю геометричних параметрів об'єктів можливо використовувати одноканальні плати відеозахвату реального часу, що підтримує захват та передачу даних по цифровому інтерфейсу. Використання подібних плат дозволяє отримати високу гнучкість, велику працездатність та збільшити якість отриманого зображення, шляхом використання функцій попередньої обробки, таких як посилення та корекція зміщення. Плата відеозахвату має буферну пам'ять 128 Мбайт для зберігання цифрових даних перед передачею даних по інтерфейсу PCIe.

3. Мета та задачі дослідження

На сьогоднішній день в сфері обробки відео зображення, що було отримано з відеокамери, використовується велика кількість спеціалізованого програмного забезпечення. Одним з найпотужніших інструментів роботи із зображеннями є пакет NI Vision, доповнений набором драйверів NI IMAQ та модулем NI Vision Assistant.

Одним з найбільших переваг даного програмного продукту є те, що незалежно від програмного середовища, що використовується, – LabVIEW, Measurement studio, Visual Basic або Visual C++ – пакет напряму надає повний контроль над всіма типами аналогових і цифрових камер і дозволяє не вдаватися до програмування на рівні регістрів.

Однією із спеціалізованих апаратно-програмних технологій National Instruments є платформа машинного зору (NI Vision), що складається з технології збору (частіше говорять – захоплення) зображення IMAQ (IMage AcQuision) і програмної технології його обробки і аналізу.

Апаратна частина технології IMAQ включає в себе модулі захоплення зображення з практично всіх поширених джерел відеосигналів – аналогових і цифрових відеокамер різних стандартів і конфігурацій.

Ці модулі розроблені таким чином, що переважно їх функціями можливо управляти програмно, що значно спрощує введення зображення з найрізноманітніших типів відеоперетворювачів.

З цієї причини за допомогою IMAQ можливо працювати із зображеннями будь-якого спектрального діапазону (від рентгенівського до інфрачервоного), з різною швидкістю введення – від одиничних «знімків» до десятків тисяч кадрів в секунду, з різною глибиною оцифровки (від 8 до 32 розрядів).

Інтерфейси IMAQ також пропонують програмовані засоби синхронізації відео введення з іншими дискретними або аналоговими процесами в досліджуваній або керованій системі

4. Експериментальні данні та їх обробка

Комплект драйверів для роботи з відеокамерами NI IMAQ сумісний зі всім програмним забезпеченням National Instruments, включаючи NI DAQ. Це дозволяє легко інтегрувати роботу із зображенням в будь-який продукт National Instruments. Головна відмінна риса NI IMAQ – обширна бібліотека спеціальних функцій. Серед них і шаблони настройки самих камер і функції виділення пам'яті,

ініціації запуску і власне отримання зображення як в постійному режимі так і в режимі одного знімку.

Інтерфейс даного програмного продукту складається з декількох панелей.

Опис передньої панелі

Передня панель (рис. 1) складається з наступних елементів:

Вікна виводу зображень (верхнє вікно відображає рух деталі по конвейєру, нижній – показує захоплене зображення, на якому показаний тип деталі та її контур).

Поле для введення місцеположення Classifier File, яке указується до початку запуску самої програми.

Масиви: назв деталей; кількості деталей, що пройшли по конвейєру; кольорів контурів.

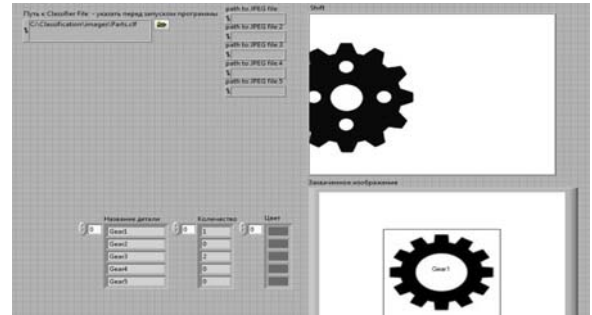


Рис. 1. Передня панель програмного продукту

Опис функціональної панелі

Функціональну панель умовно можливо розділити на дві частини:

- функціональна панель введення зображення і представлення його в русі, а також створення випадкового порядку висновку набору введених зображень (верхнє вікно висновку зображень);
- функціональна панель, яка відповідає безпосередньо за пізнання деталі (нижнє вікно висновку зображень), підрахунку по типу кількості пройдених деталей по конвеєру.

Опис першої частина функціональної панелі

Для коректної роботи програми перед її запуском необхідно вказати шлях до Classifier File, який в стандартному випадку знаходиться в C:\Classification\images\Parts.clf. Після запуску програми відкривається діалогове вікно, яке вимагає завантаження 5 видів деталей. Це необхідне для того, щоб програма з цих зображень генерувала випадковий потік деталей по конвеєру. На рис. 2 показані завантаження 5 файлів у форматі JPEG, формування масиву назв деталей, вказівку місцеположення до файлу Classifier File. Цикл необхідний для підрахунку кількості деталей.

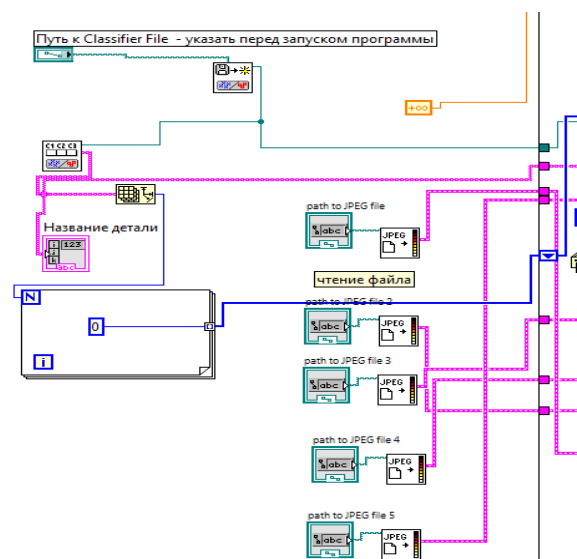


Рис. 2. Завантаження цифрових зображень деталі

Елемент IMAQ Classifier Accuracy VI - надає інформацію про точність і прогностичну цінність навчання класифікатора. Елемент Array Size Function - повертає кількість елементів в кожному вимірюванні масиву.

Елемент IMAQ Read Classifier File VI – прочитусь класифікатор сесії з файлу, після вказаного шляху. Наступним кроком обробки отриманого зображення є його перетворення у векторний формат. На рис. 3 зображений цикл, який формує випадковий потік деталей.

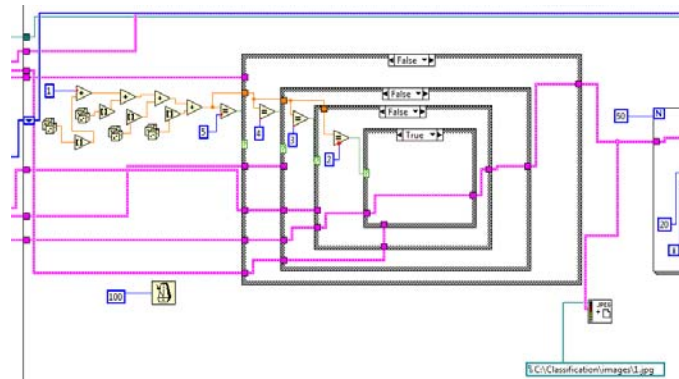


Рис. 3. Формування випадкового потоку деталей

Це досягається шляхом генерації випадкових чисел і case-структур. Після випадкового вибору деталі його зображення зберігається в C:\Classification\images\1.jpg.

Далі введені зображення перетворюються у векторний формат. На рис. 3 зображений цикл, який формує випадковий потік деталей. Це досягається шляхом генерації випадкових чисел і case-структур. Після випадкового вибору деталі його зображення зберігається в C:\Classification\images\1.jpg. Це необхідне для того, щоб по цьому зображенню працювала друга частина функціональної панелі (ідентифікація деталі).

Для імітації руху деталей по конвеєру в програмі розроблений цикл, який показаний на рис. 4. В даному випадку відбувається перетворення кластера даних зображення в 2D масив (елемент Unflatten Pixmap VI). Потім зворотне перетворення растрового зображення з масиву 2D в 1D але з подачею на вхід top left координат розміщення верхнього лівого кута зображення (елемент Flatten Pixmap VI).

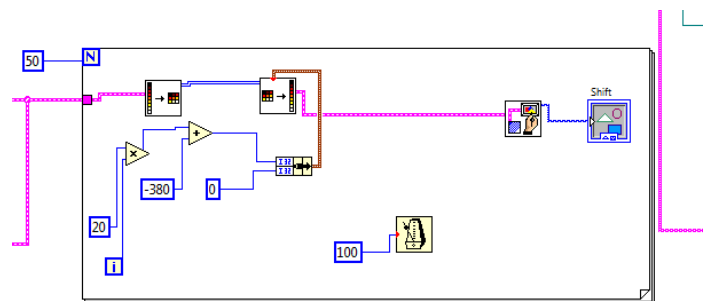


Рис. 4. Цикл імітації руху деталі по конвеєру

Після цього зображення подається на елемент Draw Flattened Pixmap VI, який безпосередньо і відображає зображення у верхньому вікні висновку зображень на передній панелі (елемент Shift).

Опис другої частини функціональної панелі

Дана функціональна панель складається з Stacked Sequence Structure компоненти, яка включає в себе три піддіаграми, які виконуються послідовно.

Як було сказано раніше в другій частині функціональної панелі відбувається безпосередньо ідентифікація деталі, яка була показана у вікні Shift на передній панелі.

У цій піддіаграмі відбувається: -виділення пам'яті для тимчасового зберігання зображень (елемент IMAQ Create VI). Classification – це безпосередньо для нашого зображення, Classification Temp – для перетвореного зображення; введення директорії зберігання зображення; тимчасова затримка в 2,1 секунди.

Це необхідне для того, щоб друга частина функціональної панелі починала працювати тільки після завершення роботи першої частини.

Елемент IMAQ ReadFile VI, в якому відбувається зчитування файлу зображення у форматі JPEG – довантажування файлу-зображення в Classification.

Елемент IMAQ Threshold VI – застосовує поріг для зображення. На вхід елементу подається посилання на початкове зображення (Image Src), посилання на цільове зображення (Image Dst), стан помилки (error in - за замовчуванням помилки немає) і в кластер вводиться поріг діапазону (Range). З виходу знімаються посилання на кінцеве зображення (Image Dst) та інформація про помилку (error);

Елемент IMAQ RejectBorder VI – видаляє частинки, які торкаються меж зображення. Початкове зображення повинне бути 8-розрядного двійкового коду. В нашому випадку на вхід елементу подається посилання на початкове зображення (Image Src) та стан помилки (error in - за замовчуванням помилки немає). На виході одержуємо посилання на кінцеве зображення (Image Dst) і інформація про помилку (error);

Елемент IMAQ Particle Analysis Report VI – повертає число частинок, зареєстрованих в бінарному зображенні і безліч звітів, що містить вимірювання частинок, що найбільш часто використовуються. На вхід подається початкове зображення (Image) і стан про помилку (error in).

З виходу елемента знімаємо масив, який повертає набір пікселів вимірювань реєстрованих частинок (Particle Reports (Pixels)), що не калібруються, знімаємо саме зображення (Image (duplicate)) і полягання про помилку (error).

Після перелічених елементів формується цикл, в якому відбувається збільшення зони рамки розпізнавання, шляхом введення координат осей (елемент Unbundle Name Function). На виході одержуємо масив координат рамки (Array) і перетворений прямокутник (за допомогою елементу IMAQ Convert Rectangle to ROI VI з нульовим кутом обертання).

Після елементу Classification Particle Analysis формується цикл, який в собі містить елемент IMAQ Classify VI (класифікує зображення зразка, який знаходиться в ROI). На його вхід подається вказана область в зображенні (ROI Descriptor), посилання на класифікатор сесії (Classifier Session див. мал. 3), посилання на джерело зображення (Image) і полягання про помилку (error in). На виході одержуємо клас, який є масивом з одним елементом (Class Results) і стан про помилку (error).

Далі інформація поступає на елемент Classification Overlay, який класифікую деталь. На його вхід подається інформація про координати (крайня ліва і крайня права крапка, подається зображення (Image), інформація про центр фігури (Center Mass), про тип деталі (Class), масив типів всіх деталей (Classes name), первинна кількість деталей. На виході цього блоку одержуємо зображення (Image 2 – з нанесеною рамкою, Image – з нанесеним текстом), New Total – оновлення кількості деталей. Весь цикл необхідний для того, щоб можна було на одному зображенні пізнавати декілька фігур. Оскільки у нас за завданням подається одна фігура в зображенні, то цикл проходить всього один раз.

Для підключення цифрової камери можна скористатися стандартною програмою в LabVIEW Grab and Select Mode.vi.

Висновки

Таким чином, IMAQ Vision дозволяє обробляти як чорно-білі зображення, так і кольорові, забезпечує геометричні перетворення, фільтрацію зображення, побудову розподілів, калібрування, а також пошук і виділення країв об'єктів, визначення геометричних параметрів об'єктів та їх класифікацію, а також проведення статистичного і морфологічного їх аналізу.

Також було запропоновано алгоритм ідентифікації деталей на конвеєрі за допомогою цифрової відеокамери.

Список літератури: 1. *Форсайт Д., Понс Ж.* Компьютерное зрение. Современный подход: Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2004. – 928 с. 2. Методы компьютерной обработки изображений / Под. ред. В.А. Сойфера. – М.: Физматлит, 2003. – 784 с. 3. *Гонсалес Р., Вудс Р.* Цифровая обработка изображений. – М.: Техносфера, 2005. – 1072 с.

Поступила в редколлегию 15.06.2012

УДК 004.031.4

Д.С. ОПАРА, асп., СумДУ, Суми,
К.О. КОВАЛЕНКО, студ., СумДУ, Суми,
В.В. ШЕНДРИК, канд. техн. наук, доц., СумДУ, Суми

МЕТОДИКА ВІДБОРУ ТА НАКОПИЧЕННЯ ЗМІННОГО У ЧАСІ WEB-КОНТЕНТУ

В статті розглянуті особливості створення методики відбору та розміщення в базу даних динамічної інформації для виконання подальшого аналізу у системі моніторингу теплозбереження будівель СумДУ.

Ключові слова: моніторинг, парсер, DOM-дерево, HTML, база даних.

В статье рассмотрены особенности создания методики отбора и размещения в базу данных динамической информации для выполнения последующего анализа в системе мониторинга теплосбережения зданий СумГУ.

Ключевые слова: мониторинг, парсер, DOM-дерево, HTML, база данных.

In the paper deals a method of selection and placement in database dynamic information for further analysis in the system of monitoring heat saving buildings SSU.

Keywords: monitoring, parser, DOM-tree, HTML, database.

1 Вступ та постановка завдань дослідження

Основною складовою успіху в роботі системи моніторингу теплозбереження будівель СумДУ є можливість своєчасно одержувати та обробляти необхідну достовірну інформацію про погодні дані. У якості джерела збору даних вирішено використовувати web-системи прогнозування кліматичних показників, що виводять динамічні дані, які постійно змінюються. Виходячи з вище зазначеного, у даному дослідженні була поставлена мета розробити нову методику відбору та накопичення змінних у часі даних.

2. Етапи створення методика відбору та накопичення даних

В даній роботі було досліджено синтаксичну структуру сайтів погоди та виявлено, що інформація в них зберігається, здебільшого, на динамічних web-сторінках у форматі HTML. Після аналізу підходів до моніторингу даних в розподілених інформаційних системах було виявлено, що для розробки нового методу парсингу необхідно інтегрувати реалізацію методики відбору та накопичення метеорологічних даних в роботу систему моніторингу теплозбереження будівель СумДУ. Взаємодія компонентів системи моніторингу метеорологічних даних представлена на рис. 1.

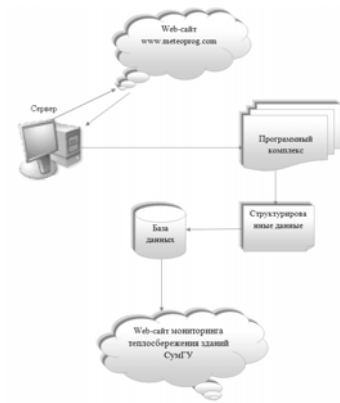


Рис. 1. Схема взаємодії компонентів інтерактивної системи

3. Аналіз вхідної інформації

Сайт www.meteoprog.com надає у використання різноманітні види інформації. Загалом, вхідна інформація складається з кліматичних показників прогнозу погоди на конкретний день тижня. Дані оновлюються кожну годину. Для розробки програмного сценарія парсингу web-сторінок доцільнішим буде використовувати HTML-таблиці. Дослідивши структуру HTML-таблиці було розроблено модель вхідної інформації (1).

$$X = \{t, O, T, p, P, v\} \quad (1)$$

де t – час, за яким надаються кліматичні показники на сайті, (години);

O – опади, (мм); T – температура, ($^{\circ}\text{C}$); p – тиск, (мм рт.ст); P – вологість повітря, (%); V – швидкість повітря, (м/с).

4. Витяг даних

Основне завдання витягу інформації полягає у скануванні набору web-сторінок у форматі HTML та заповнення бази даних виділеною корисною інформацією. У даній роботі використаний комбінований метод синтаксичного аналізу web-сторінок – парсинг в поєднанні з методологіями граберів. Під час парсингу вихідний текст HTML-документа перетворюється в [структуру даних](#) – у DOM-дерево, яке представляє синтаксичну структуру вхідної послідовної інформації, яку можна проаналізувати, обробити та зберегти. Алгоритм таких послідовних дій представлений на рис. 3. Також потрібно перевести отримані дані у згруповану структуру реляційної бази даних. Процес, алгоритм якого зображено на рис. 3 триває

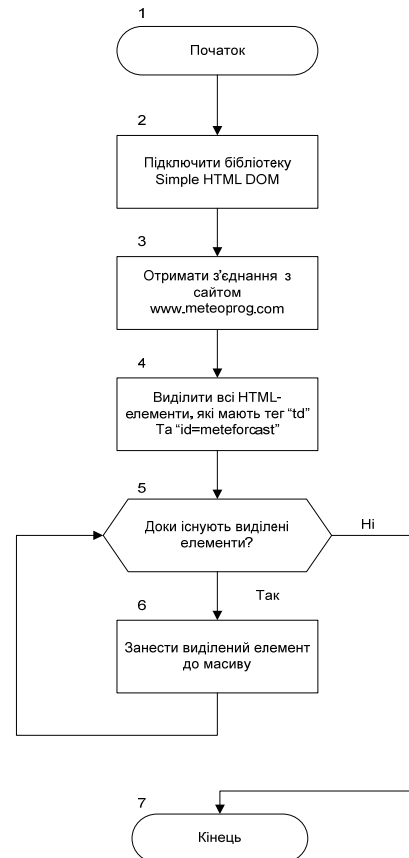


Рис. 3. Алгоритм синтаксичного аналізу HTML-інформації

www.meteoprog.com.

5. База даних

Доцільно всі отримані дані об'єднати в базу даних (БД), яку можна змінювати та доповнювати при практичній інтеграції даної методики до системи моніторингу теплосбереження будівель СумДУ.

Згідно до моделі вхідної інформації, див. формулу (1), та створеного алгоритму обробки вхідної інформації, кожен з елементів має власні кліматичні показники, які відрізняються за датою їх актуальної дії. Використовуючи цей принцип була побудована база даних, яка складається з чотирьох таблиць, що містять розпарсені кліматичні показники міста за кожну годину та розраховані середні значення погодних даних за добу, ніч та день. В таблиці “bufer” зберігаються отримані погодинні кліматичні показники після кожного автоматичного запуску та обробки розробленого програмного модулю парсингу метеорологічних даних. Таблиці “noch”, “ytro” та “avg” заповнюються розрахованими середніми значеннями кліматичних показників за ніч, день та добу відповідно.

Процес заповнення буферної таблиці даними представлено у вигляді алгоритму, який зображено на рис. 4.

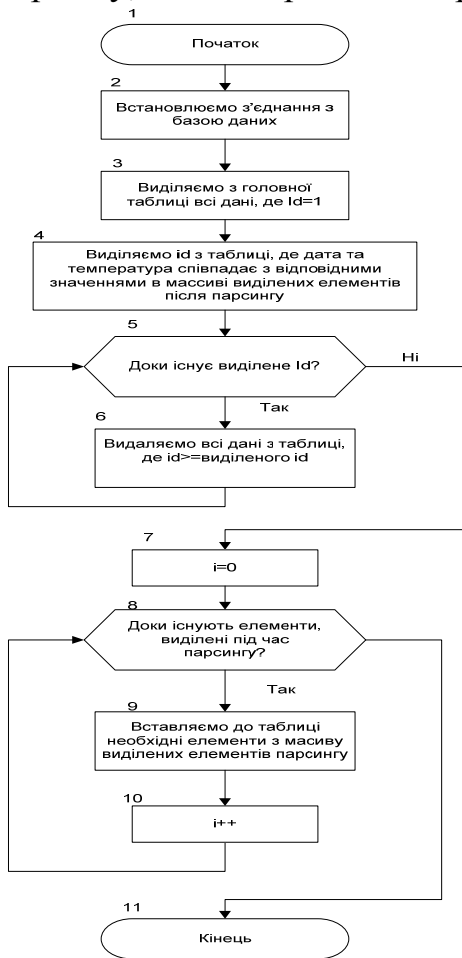


Рис. 4. Алгоритм заповнення
таблиці бази даних (Bufer)

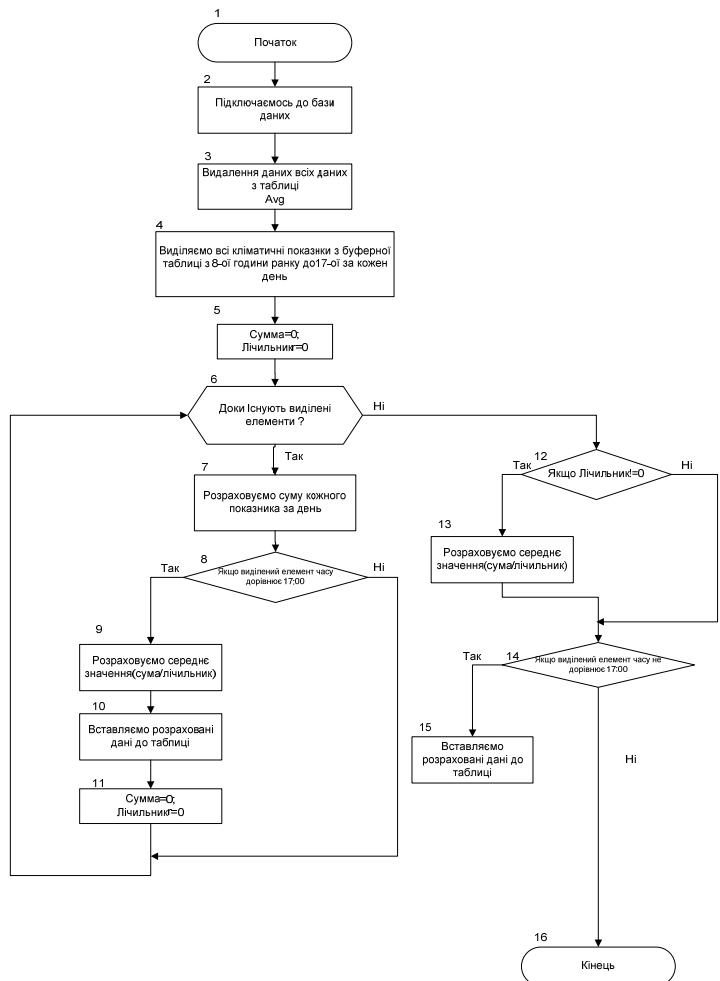


Рис. 5. Алгоритм заповнення таблиці бази даних (Ytro)

Після заповнення буферної таблиці бази даних кліматичними показниками міста Суми на два дні вперед за кожну годину, стає можливим розрахунок середнього значення показників за день, за ніч та за добу. База даних, а саме буферна таблиця, зберігає дуже велику кількість інформації (погодині кліматичні показники кожного дня на два дні вперед за поточний рік). Тому, для автоматизації та для зручності у використанні було вирішено розрахувати середні значення метеорологічних даних за кожну добу, ніч та день. Процес розрахунку середніх значень кліматичних показників за день, ніч та за добу, та занесення їх до бази даних представлений на рис. 5, на прикладі алгоритму розрахунку середніх значень показників за день (з восьмої до сімнадцятої) кожного дня.

Алгоритм розрахунку середнього значення кліматичних показників за день майже не відрізняється від розрахунків за добу чи за ніч. Відмінним стає те, за який час виділяти дані з буферної таблиці

6. Аналіз виключних ситуацій, налаштування автоматичного оновлення роботи програмного модуля парсингу метеорологічних даних та створення архівів бази даних.

При розробці парсеру метеорологічних даних були виявлено, враховано та налаштована обробка таких виключних ситуацій:

- Перевірка коректності отриманих даних.
- Контроль збереження кліматичних показників до бази даних (час збереження, дійсність збереження).
- Контроль підключення до серверу www.meteoprogram.com.
- Ведення журналу подій та журналу помилок.
- Збереження актуальної інформації з бази даних за день до архіву.

Для налаштування автоматичної роботи парсеру метеорологічних даних було використано планувальник завдань CRON. Створене завдання (parser) запускається та обробляється кожну десятю хвилину кожного часу кожного дня. Цей процес виконується в консолі та має фоновий режим. Програма моніторингу метеорологічних даних не має інтерфейсу, так як вона працює в автоматичному режимі, без застосування дій користувача.

База даних зберігає велику кількість інформації, яка кожну годину оновлюється. Тому, для запобігання непередбачених обставин в роботі користувача з програмним модулем парсингу метеорологічних даних було вирішено створювати архіви бази даних за кожен тиждень. Для розробки процесу створення архівів бази даних було використано програму SyrexDumper, яка дозволяє інтегруватися з планувальником завдань, щоб забезпечити автоматичне створення архівів за конкретну дату. Отже, процес архівації бази даних буде запускатися та оброблятися кожного дня о 22:42.

7. Висновки

В даній роботі розроблена та реалізована, у вигляді програмного модулю моніторингу метеорологічних даних, нова методика витягу інформації з Інтернету, яка дозволяє збирати необхідні кліматичні показники міста Суми з сайту www.meteoprogram.com та розраховувати середні значення показників за ніч, день та добу. Дана методика виконує парсинг HTML-таблиць, аналізує дані, обробляє та додає до реляційної бази даних. Налаштовано автоматичне

оновлення роботи програмного модулю моніторингу метеорологічних даних та автоматичне створення архівів заповненої бази даних за кожен день. Створено журнал подій та журнал помилок. Програмний модуль парсингу метеорологічних даних було інтегровано в роботу сайту моніторингу теплозбереження будівель СумДУ. Розроблений програмний продукт може бути інтегровано в роботу інших підприємств та організацій, де потрібні кліматичні показники для специфічних розрахунків.

Список літератури: 1. Шендрік В.В. Система збирання, розміщення та аналізу даних / В.В. Шендрік, С.М. Ващенко // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". Серія "Інформаційні системи та мережі" – 2011. – № 715. – С. 343-353.

Поступила в редколегію 15.06.2012

УДК 519.234

В. О. ШЕВЧЕНКО, асис., ХНАДУ, Харків

ПРОВЕРКА ДОСТОВЕРНОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ МЕТОДАМИ НЕПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ СТАТИСТИКИ

Описана методика перевірки достовірності імітаційної моделі придбання знань студентами з дисципліни "Інформатика" за допомогою методів непараметричної статистики: медіанним критерієм та критерієм Вілкоксона-Манна-Уїтні

Ключові слова: непараметрична статистика, нульова гіпотеза, альтернативна гіпотеза, критерій, моделювання

Описана методика проверки достоверности имитационной модели приобретения знаний студентами по дисциплине «Информатика» с помощью методов непараметрической статистики: медианным критерием и критерием Вилкоксона-Манна-Уитни

Ключевые слова: непараметрическая статистика, нулевая гипотеза, альтернативная гипотеза, критерий, моделирование

A technique for validating a simulation model of knowledge acquisition by students on academic discipline "Computer Science" by means of nonparametric statistics methods application : the median test and the Wilcoxon-Mann-Whitney test is described.

Keywords: nonparametric statistics, null hypothesis, alternative hypothesis, test, simulation.

1. Введение

Результаты педагогических измерений, полученные в процессе педагогических исследований, нуждаются в математической обработке. Во многих случаях для сравнения полученных результатов различных измерений используют средние значения. Главным недостатком этого метода является его качественный характер и неопределенность. Статистические методы позволяют численно оценить достоверность произведенных сравнений. Глубокая статистическая обработка результатов измерений допустима в случае, когда известны законы распределения измеряемых случайных величин. К сожалению, такие законы при педагогических измерениях практически неизвестны. В этом случае, единственным математическим аппаратом, позволяющим, получить количественные оценки является непараметрическая статистика [1].

2. Цель и постановка задачи

Выдвинута гипотеза, что результаты моделирования зачетного балла построенной модели приобретения знаний студентами по дисциплине «Информатика» соответствуют реальным зачетным баллам студентов, полученным ими на зачете по информатике.

Цель: подтвердить выдвинутую гипотезу методами непараметрической статистики.

Для подтверждения гипотезы воспользовались двумя методами непараметрической статистики: медианным критерием и критерием Вилкоксона-Манна-Уитни.

3. Проверка достоверности результатов моделирования по медианному критерию

Проверку проведем по методике, описанной в работе [2]. Исходные данные: вектор $X = \{x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_N\}$ – вектор баллов, полученных студентами на зачете; вектор $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_i, \dots, y_N\}$ – вектор зачетных баллов, рассчитанных для тех же студентов при помощи модели. Шкала измерений 100-балльная ($M=100$). Анализируются данные 136 студентов ($N = 136$).

Алгоритм применения медианного критерия:

1) Формируем вектор Z путем объединения векторов X и Y :

$$Z = X \cup Y = \{x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_N, y_1, y_2, \dots, y_i, \dots, y_N\}, \quad (1)$$

где $i = \overline{1, N}$; N – длина векторов X и Y .

2) путем суммирования количества одинаковых баллов для векторов X , Y и Z строятся соответствующие совокупности абсолютных частот появления баллов:

$$\begin{aligned} XA &= \{xa_1, xa_2, \dots, xa_j, \dots, xa_M\}, \\ YA &= \{ya_1, ya_2, \dots, ya_j, \dots, ya_M\}, \\ ZA &= \{za_1, za_2, \dots, za_j, \dots, za_M\}, \end{aligned} \quad (2)$$

где $j = \overline{1, M}$; M – количество градаций в выбранной шкале измерений; xa_j, ya_j, za_j – частоты появления баллов в векторах X и Y соответственно:

$$\begin{aligned} xa_j &= \sum_{i=1}^N (x_i = g_j), \\ ya_j &= \sum_{i=1}^N (y_i = g_j), \\ za_j &= \sum_{i=1}^N (z_i = g_j), \end{aligned} \quad (3)$$

где g_j – j -ое значение в выбранной шкале.

3) Строится вектор Z_Σ путем последовательного суммирования частот вектора ZA :

$$Z_\Sigma = \sum_{i=1}^N za_i. \quad (4)$$

4) Сформированные данные заносятся в таблицу.

5) Определяется строка MED , в которой находится медиана объединенной выборки MED_Z :

$$MED = \frac{\max(Z_{\Sigma})}{2}. \quad (5)$$

$$MED = \frac{271}{2} = 135,5.$$

6) В таблице выделяется строка, в которой находится значение MED . В нашем случае значение $MED = 135,5$ лежит между значениями шкалы 68 и 69. Следовательно, $MED_Z = 68,5$.

7) Для векторов XA и YA суммируются частоты над и не над строкой MED :

$$\begin{aligned} Q_{1X} &= \sum_{j > MED_Z} xa_j, \\ Q_{2X} &= \sum_{j \leq MED_Z} xa_j, \\ Q_{1Y} &= \sum_{j > MED_Z} ya_j, \\ Q_{2Y} &= \sum_{j \leq MED_Z} ya_j. \end{aligned} \quad (6)$$

Результаты заносятся в таблице.

Таблица - Суммы частот над и не над строкой MED

	XA	YA
$MED_Z >$	$Q_{1X} = 69$	$Q_{1Y} = 68$
$\leq MED_Z$	$Q_{2X} = 66$	$Q_{2Y} = 68$

8) Так как все $Q_{ij} > 5$ (см. табл. 1), медианный критерий применим. Вычисляется наблюдаемое значение статистики:

$$T_n = \frac{\max(Z_{\Sigma}) (|Q_{1X} \cdot Q_{2Y} - Q_{2X} \cdot Q_{1Y}| - \max(Z_{\Sigma})/2)^2}{(Q_{1X} + Q_{1Y})(Q_{2X} + Q_{2Y})(Q_{1X} + Q_{2X})(Q_{1Y} + Q_{2Y})}, \quad (7)$$

где T_n – наблюдаемое значение статистики.

$$T_n = \frac{271 (|69 \cdot 68 - 66 \cdot 68| - 271/2)^2}{(69 + 68)(66 + 68)(69 + 66)(68 + 68)} \approx 0,003773.$$

При уровне значимости $\alpha = 0,05$ критическое значение статистики $T_{кр} = 3,841$ [2]. Так как $T_n < T_{кр}$, проверяемая гипотеза принимается.

4. Проверка достоверности результатов моделирования по критерию Вилкоксона-Манна-Уитни

Алгоритм применения критерия Вилкоксона-Манна-Уитни:

1) Элементам вектора X устанавливается метка $R_i = 0, i = \overline{1, N}$; элементам вектора Y устанавливается метка $R_i = 1, i = \overline{1, N}$. Элементы с метками $R_i = 0$ и $R_i = 1$ объединяются в вектора $ПХ$ и $ПУ$ соответственно.

2) Векторы X и Y объединяются в вектор $Z = X \cup Y = \{x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_N, y_1, y_2, \dots, y_i, \dots, y_N\}$, векторы $ПХ$ и $ПУ$ объединяются в вектор $ПZ = ПХ \cup ПУ$.

3) Из вектора Z формируется вектор ZR путем упорядочивания по возрастанию элементов вектора Z . При этом элементы вектора $ПZ$ перемещаются

соответственно перемещению элементов вектора Z при упорядочивании, так, чтобы все элементы вектора ZR остались помеченными своими метками.

4) Производится ранжирование вектора ZR . Каждому элементу вектора ZR присваивается порядковый номер этого элемента в векторе ZR . Если в векторе ZR имеются несколько элементов, одинаковых по значению, каждому из этих элементов присваивается ранг, равный усредненному значению этих элементов. Из результатов ранжирования формируется вектор R .

5) Определяется наблюдаемое значение статистики по формуле (8):

$$T_n = S - \frac{N(N-1)}{2}, \quad (8)$$

где T_n – наблюдаемое значение статистики; N – длина вектора X или Y ; S – промежуточная величина, вычисляемая по формуле (9):

$$S = \sum_{i=1}^{2N} R_i. \quad (9)$$

Так как длина исходных векторов X и Y одинакова, для вычисления суммы по формуле (9) можно выбрать любой признак R_i . Принимаем $R_i = 0$. В этом случае получаем:

$$S = \sum_{i=1}^{2N} (R_i = 0) = 18415.$$

Полученное значение подставляется в формулу (8):

$$T_n = 18415 - \frac{136(136-1)}{2} = 9235.$$

6) Так как $N > 20$, $T_{кр}$ вычисляется по формуле (10):

$$T_{кр} = \frac{N^2}{2} + Q \sqrt{\frac{N^2(2N+1)}{12}}, \quad (10)$$

где Q – квантиль.

При уровне значимости $\alpha = 0,05$, $Q = 1,96$. Получаем:

$$T_{кр} = \frac{136^2}{2} + 1,96 \sqrt{\frac{136^2(2 \cdot 136 + 1)}{12}} = 10519,41.$$

7) Определяется $T_{кр1}$ и $T_{кр2}$ по соотношениям (11) и (12):

$$T_{кр1} = N^2 - T_{кр}, \quad (11)$$

$$T_{кр1} = 136^2 - 10519,41 = 7976,59.$$

$$T_{кр2} = T_{кр}, \quad (12)$$

$$T_{кр2} = 10519,41.$$

Наблюдаемое значение статистики не попадает в критические области ($T_n \geq T_{кр1}$ и $T_n \leq T_{кр2}$). Следовательно, проверяемая гипотеза принимается.

5. Вывод

Расчеты, проведенные с помощью методов непараметрической статистики, позволяют утверждать, что результаты моделирования и педагогического эксперимента подчиняются одинаковым законам, и это подтверждает достоверность разработанной модели.

Список литературы: 1. Метешкин, А. А. Педагогические исследования в высших учебных заведениях / А. А. Метешкин – Харьков, ХНАДУ, 2006. – 97 с. 2. Грабарь, М. И. Применение математической статистики в педагогических исследованиях. Непараметрические методы / М. И. Грабарь, К. А. Краснянская – М., Педагогика, 1977. – 136 с. 3. Паповян, С. С. Математические методы в социальной психологии / С. С. Паповян – М., Наука, 1983. – 343 с.

Поступила в редколлегию 09.06.2012

УДК 378

В.Л. МАРЧЕНКО, докт. техн. наук, проф., «ХНУ», Хмельницький,
Л.С. ДРАПАК, канд.фіз.-мат.наук, доц., «ХНУ», Хмельницький

ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ТАБЛИЧНОГО ПРОЦЕСОРА MS EXCEL ДЛЯ РОЗВ'ЯЗУВАННЯ НЕЛІНІЙНИХ РІВНЯНЬ

Розглянуто використання засобу табличного процесора MS Excel «Пошук рішення» при розв'язуванні нелінійних рівнянь. Показано, що існують випадки отримання помилкових результатів та досліджено їх причину. Рекомендовано можливості використання програмного засобу для аналізу складних функцій.

Ключові слова: надбудова процесора, нелінійні функції, обмеження.

Рассмотрено использование средства табличного процессора MS Excel «Поиск решения» при решении нелинейных уравнений. Показано, что существуют случаи получения ложных результатов и исследованы их причины. Рекомендовано возможности использования программного средства для анализа сложных функций.

Ключевые слова: надстройка процессора, нелинейные функции, ограничения.

The use of means of tabular processor MS Excel «Finding solutions » in the solution of nonlinear equations. It is shown that there are cases of a false result and investigated their cause. Recommended possibility of using software for analysis of complex functions

Keywords: Superstructure processor, nonlinear functions, limits of authority

Вступ

Дослідження даної статті відносяться до галузі науки “Прикладна математика та комп'ютерні технології”. Практика застосування та подальшого розв'язування рівнянь будь – якого типу показує, що цей процес є досить трудомістким і таким, при якому не завжди вдається отримати результат в аналітичному вигляді. В цьому випадку доцільно використовувати чисельні методи розрахунку. Табличний процесор MS Excel має досить багато засобів для проведення таких розрахунків, серед яких добре відомі надбудови «Підбір параметрів», «Сценарії» та «Пошук рішення». Останній з цих програмних засобів, хоча й відомий як засіб, призначений для розв'язування задач оптимізації, має можливість і для розв'язування рівнянь. Саме таке застосування надбудови розглядається в даній роботі.

Аналіз літературних даних та постановка проблеми

«Пошук рішення» вимагає виконання певної послідовності дій, серед яких є наступні: введення цільової функції, призначення комірок електронної таблиці невідомим, задання значення правої частини рівняння, введення обмежень. Ця схема дій в більшості випадків забезпечує отримання результату при коректній

постановці задачі. Під коректною постановкою будемо розуміти наявність одного кореня в заданому діапазоні значень аргументу. Виходячи з того, що забезпечити ці умови не завжди можливо, результат може бути неточним або помилковим. Виконаний аналіз літературних джерел, включаючи довідкову систему, показав, що ці питання практично не описані в літературі. Так, в роботах [1-3] показано послідовність використання програми при розв'язуванні задач оптимізації, наведено приклади типових задач. В більшості видань з інформатики надбудова «Пошук рішення» розглядається в класичній постановці, а нестандартні випадки не розглядаються. Окрім того, як свідчить практичний досвід використання надбудови «Пошук рішення», в деяких випадках отримуються помилкові результати, які потребують аналізу та пояснень. Тому саме ці випадки і розглядаються в роботі.

Мета і задачі дослідження

Метою роботи є дослідження роботи програмного засобу «Пошук рішень» табличного процесора MS Excel в нестандартних умовах. Для досягнення мети необхідно приводити у відповідність математичний зміст задач, що розглядаються, з можливостями програмного засобу та результатами його роботи.

Експериментальні результати та їх обробка

Розглянемо приклад розв'язування наступного рівняння: $x^3 - 1 = 0$.

Рішення рівняння надбудовою «Пошук рішення» показано на (рис. 1). Як видно з рисунка, в рядку формул представлена цільова функція, яка є лівою частиною рівняння і розміщена в комірці C5. Невідоме x розміщене в комірці C3, а початкове значення не задається, тобто вважається рівним нулю за замовчуванням.

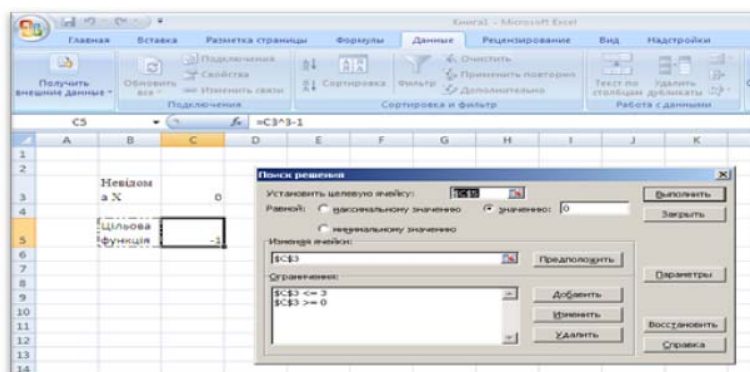


Рис. 1. Розв'язування рівняння $x^3 - 1 = 0$

Результат знаходження кореня рівняння наступний: цільова функція дорівнює -1 при $x = 0$ (рис. 1). Зрозуміло, що вірним розв'язком є $x = 1$.

Представлення рівняння в іншому вигляді, а саме: $x^3 = 1$, дозволяє отримати вірний результат (рис. 2).

Вірний результат також отримуються при

використанні попереднього вигляду цільової функції, тобто $x^3 - 1$, та при

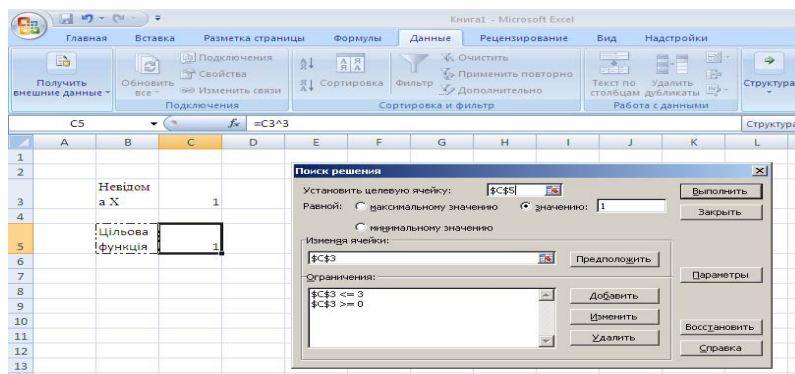


Рис. 2 . Розв'язування рівняння $x^3 = 1$

заданому значенні аргументу x . На рис.3, наприклад, наведені результати отримання розв'язку рівняння $x^3 - 1 = 0$ при початковому значенні $x = 0,1$.

Розглянемо низку випадків використання надбудови при некоректному рішенні рівняння. Одним з них є відсутність кореня в заданому діапазоні. Далеко

не для кожної функції можна точно вказати діапазон значень аргументу, в межах якого знаходиться корінь рівняння. Прикладом такого рівняння є наступне $4 * \sin(x/4) + 3 * \cos(x) = 1$. В цьому випадку задається незначний діапазон, в межах якого може знаходитись один корінь. Якщо кореня в цьому діапазоні немає,

програма повинна видати результат з відповідним повідомленням про неможливість знаходження розв'язку. Для рівняння $4 * \sin(x/4) + 3 * \cos(x) = 1$ в межах $0 \leq x \leq 1,5$ маємо наступне (рис.4-5).

Отже, програма видала повідомлення про відсутність значення кореня (рис. 4) і обчислила найближче значення цільової функції 1,67 при значенні аргументу, що дорівнює $x = 1,5$ (рис.5).

Іншим випадком є наявність у заданому діапазоні декількох коренів, що може привести до ускладнення аналізу функції. Розглянемо, для прикладу, наступне рівняння $4 * \sin(x) + 3 * \cos(x) = 1$. Графік лівої частини рівняння, тобто цільової функції показано на рис. 6.

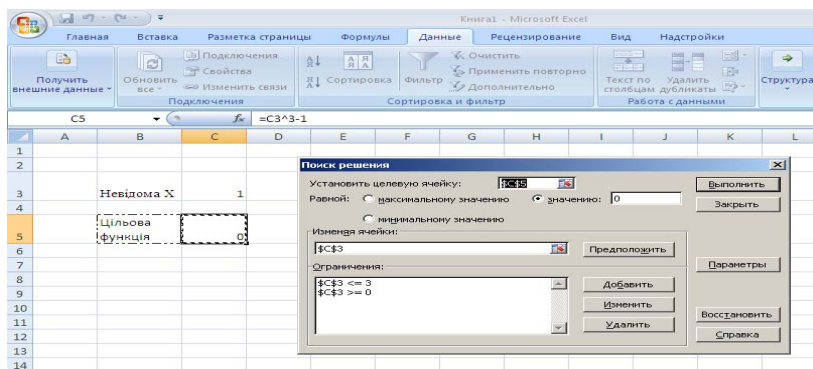


Рис. 3. Результат розв'язування рівняння $x^3 - 1 = 0$ при значенні $x = 0,1$

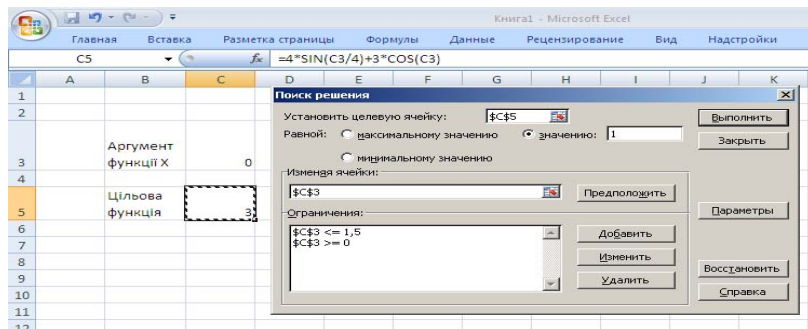


Рис. 4. Вихідні дані для розв'язування рівняння $4 * \sin(x/4) + 3 * \cos(x) = 1$

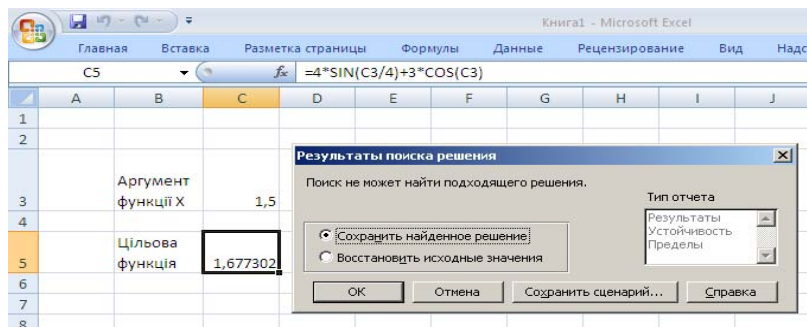


Рис. 5. Результат обчислення неіснуючого кореня рівняння $4 * \sin(x/4) + 3 * \cos(x) = 1$

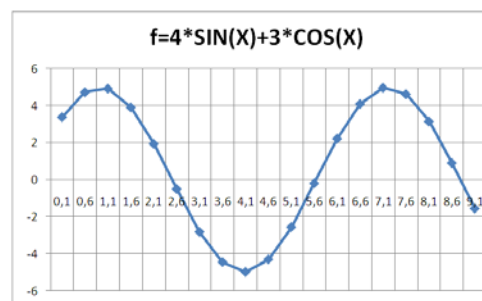


Рис. 6. Графік функції $f = 4 * \sin(x) + 3 * \cos(x)$

Розв'яжемо рівняння $4 * \sin(x) + 3 * \cos(x) = 1$ на проміжку $0 \leq x \leq 9$. Як видно з графіка, на цьому діапазоні існує три корені. Результат роботи програми в даному випадку наведено на рисунках 7, 8.

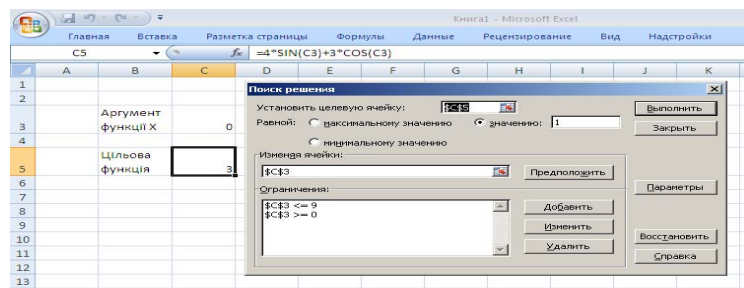


Рис. 7. Вихідні дані для розв'язку рівняння $4 * \sin(x) + 3 * \cos(x) = 1$

Звернемо увагу на те, що початкове значення аргументу спочатку не задавалось. Отриманий корінь рівняння є вірним, але він є одним з трьох коренів (рис. 6). При цьому даний корінь є середнім коренем із трьох можливих.

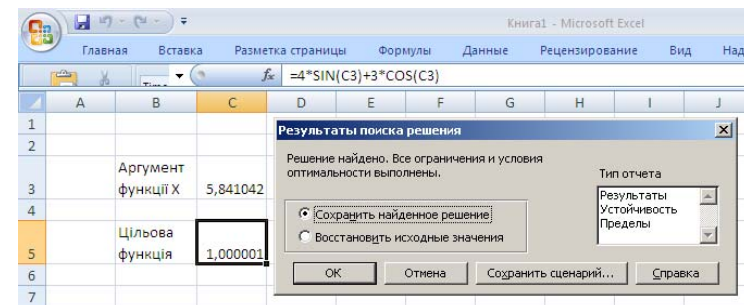


Рис. 8. Результати розв'язку рівняння $4 * \sin(x) + 3 * \cos(x) = 1$

Не приводячи результатів обчислень зазначимо, що при присвоєнні початковому значенню аргументу значення 0,1, тобто при $x = 0,1$ відповідного рішення не знайдено, а при значенні аргументу $x = 1$ знайдено перший від початку системи координат корінь $x = 2,4$.

Висновки

Отже, в результаті проведених досліджень, можна сказати, що надбудова табличного процесора MS Excel «Пошук рішення» є ефективним засобом розв'язування нелінійних рівнянь. В більшості випадків, при наявності одного кореня програма дає дійсні результати. Однак, в деяких випадках результати є помилковими.

При некоректному використанні програми, коли в заданому діапазоні не існує коренів або якщо їх кількість більше одного, необхідно передбачати якісно результат і здійснювати аналіз та перевірку отриманих рішень.

Список літератури: 1. Должанков В., Колесніков Ю. Microsoft Excel 2002. – СПб: БХВ – Петербург, 2003.-1072 с. 2. www. Msexcel.ru Профессиональные приемы работы в Microsoft Excel 3.WWW. Office. Microsoft.com/excel – help/HP010072691.aspx.

Поступила в редколлегию 20.06.2012

УДК 004.9, 654.01, 658.512, 69.059.7, 519.6

А.В.КАЛМЫКОВ, канд.техн.наук, НАУ им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков

МЕТОДОЛОГИИ RUP И AGILE В УПРАВЛЕНИИ ИТ-ПРОЕКТАМИ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

У статті розглядається використання протягом життєвого циклу розробки і супроводу ІТ-систем телекомунікаційного підприємства різних методологій створення програмного забезпечення. Показано можливості їх ефективного застосування та задоволення суперечливих

вимог на основі декомпозиції функціональної архітектури системи.

Ключові слова: RUP, Agile, управління проектами, життєвий цикл.

В статье рассматривается использование в течение жизненного цикла разработки и сопровождения IT-систем телекоммуникационного предприятия различных методологий создания программного обеспечения. Показаны возможности их эффективного применения и удовлетворения противоречивых требований на основе декомпозиции функциональной архитектуры системы.

Ключевые слова: RUP, Agile, управление проектами, жизненный цикл

The article considers the usage of different methodologies of software development during a life-cycle of IT-systems (including designing and further maintenance), which relate to the telecommunication industry. It is shown the possibility of their effective application and compliance to contradictory demands on the basis of the functional architecture decomposition.

Keywords: RUP, Agile, project management, life cycle

Введение

Жизненный цикл производственных корпоративных IT-систем состоит из нескольких последовательных этапов проектирования, разработки, внедрения, эксплуатации [1]. При этом, как правило, фактическое интенсивное развитие информационных систем не прекращается с завершением этапа внедрения. Например, системы, обеспечивающие деятельность операторов телекоммуникаций, непрерывно развиваются в течение всего периода эксплуатации в виду необходимости внедрения и предоставления абонентам новых видов услуг, расширения существующих сервисов, наращивания нагрузок и объемов обрабатываемой информации.

Процессы внедрения, разработки и сопровождения информационных систем, обеспечивающих предоставление телекоммуникационных услуг, характеризуются четкими временными рамками начала и завершения работ, ресурсами, выделенными для их выполнения, и ожидаемыми результатами. Данные активности имеют все признаки проектной деятельности, и, следовательно, управление ими целесообразно осуществлять на основе принципов проектного менеджмента.

Следует отметить, что с одной стороны, необходимо обеспечить высокое качество реализуемых в телекоммуникационной отрасли IT-решений, преемственность их развития, что достигается использованием традиционных фундаментальных подходов в управлении подобными разработками. С другой стороны, высокая динамика изменений требований, характеристик и видов предоставляемых телекоммуникационных услуг вызывает необходимость применения в разработке и внедрении компонентов IT-систем (OSS/BSS), реализующих такие услуги, гибких, адаптивных методологий управления соответствующими проектами и программами.

Известные подходы к управлению IT-проектами

Традиционные подходы в управлении проектами разработки информационных предполагают создание различных сопровождающих артефактов, каких как: устав проекта, план проекта, план коммуникаций [2]. Как правило, разработка данных сущностей выполняется на начальной стадии проекта и требует привлечения достаточно квалифицированных исполнителей.

Кроме того, предусматривается создание различной сопровождающей и сдаточной документации: описание решения, спецификация ПО, различные руководства и справочники по эксплуатации. Например, такие действия предполагаются в методологии RUP [3], успешно применяемой для управления разработкой больших информационных систем. На рис. 1 показаны последовательность этапов разработки программной продукции в соответствии с данной методологией, ожидаемое распределение нагрузки и потребности в ресурсах в течение выполнения проекта.

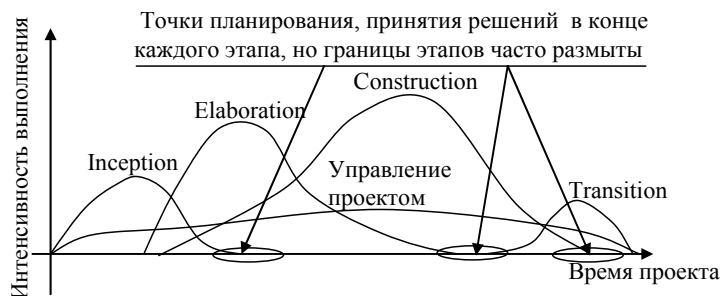


Рис. 1. Методология разработки RUP, точки принятия решений и этапы

Вместе с тем, такой подход является чрезмерно затратным для небольших изменений в конфигурациях системы или при развитии уже существующей функциональности. Такие работы, как правило, имеют небольшие длительность и трудоемкости, сравнимые с подготовкой и сопровождением артефактов, требующихся в соответствии с методологией RUP. Кроме того, подобные активности часто неоднократно повторяются в течение определенного календарного периода времени. Поэтому такой характер процесса разработки хорошо согласуется с методологиями семейства Agile [4, 5] (см. рис. 2), согласно которым управление проектами разработки осуществляется посредством разбиения проекта на последовательность относительно независимых коротких итераций (sprint). Каждая такая итерация содержит все активности, характерные для «большого» проекта.

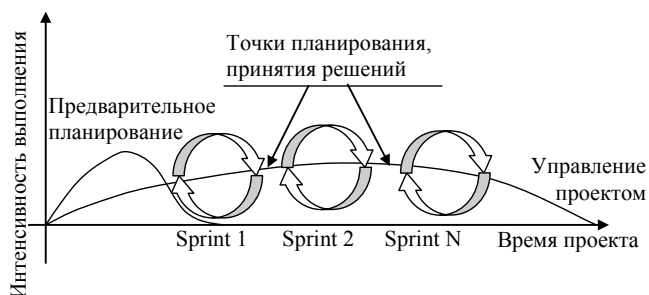


Рис. 2. Методология разработки Agile, итерации и точки принятия решений

В табл. 1 показаны ключевые отличия данных методологий организации и управления проектами разработки, внедрения и сопровождения информационных систем [6].

Методологии RUP и семейства Agile можно рассматривать как два противоположных взгляда на разработку программного обеспечения, поэтому особенности управления IT-проектами имеет смысл рассматривать с позиций этих двух подходов.

Управление разработкой сложных информационных систем во многих случаях организовывается с учетом особенностей разрабатываемого объекта. Например, в работе [7] показана декомпозиция IT-системы телекоммуникационного предприятия на несколько функциональных уровней, относительно которых организовывается управление разработкой (см. рис. 3): адаптация приложений, специализированные процессы, общие сервисы и прикладное ПО, программно-аппаратные комплексы.

Таблица 1. Ключевые особенности методологий RUP и Agile-подобных.

RUP	Agile-подобные(на примере SCRUM)
Итерационный подход. Проект состоит из 4-х этапов, которые частично могут выполняться одновременно и параллельно	Итерационный подход. Каждый Sprint (итерация) является относительно независимой частью проекта
Детальный план проекта с четким окончанием и промежуточными этапами (milestone)	Высокоуровневый план проекта, планирование каждой итерации определяется в конце предыдущей итерации на основе результатов ее выполнения
Объем проекта определяется как можно заранее (перед началом проекта или на этапе вхождения).	В конце каждой итерации оценивается соответствие текущего состояния желаемому (списку запланированных итераций) и определяются объемы для следующей итерации

При этом к традиционной разработке программных решений можно отнести только действия на уровнях специализированных процессов, общих сервисов и прикладного ПО. Действия на уровне адаптации приложений направлены на приспособление (кастомизацию) существующих решений под потребности пользователя, поэтому для их реализации целесообразно применять гибкие подходы, не предусматривающие длительных подготовительных процедур.

Уровень программно-аппаратных платформ предполагает создание необходимой функциональности на основе комплексирования из готовых компонентов. Очевидно, что для управления данными проектными действиями следует использовать разные подходы.

Фактически, в представлении IT-системы, показанном на рис. 3, каждый из функциональных уровней состоит из одной или нескольких взаимодействующих подсистем, каждая

из которых является относительно независимой, и при условии некоторой адаптацией может использоваться в составе других разрабатываемых или действующих информационных систем. Вместе с тем, предложенная высокоуровневая модель, несмотря на предоставляемые возможности по структуризации и декомпозиции состава выполняемых работ и проектных действий, не содержит конкретных рекомендаций по управлению IT-проектами, и, соответственно, её целесообразно применять совместно с известными практическими методиками управления разработкой IT-систем.

В то же время, перечисленные выше методологии управления созданием программной продукции являются слишком абстрактными и не учитывают многие отраслевые особенности разработки и эксплуатации проектируемых IT-систем.

Постановка задачи

Очевидно, что существует некоторый разрыв между существующими

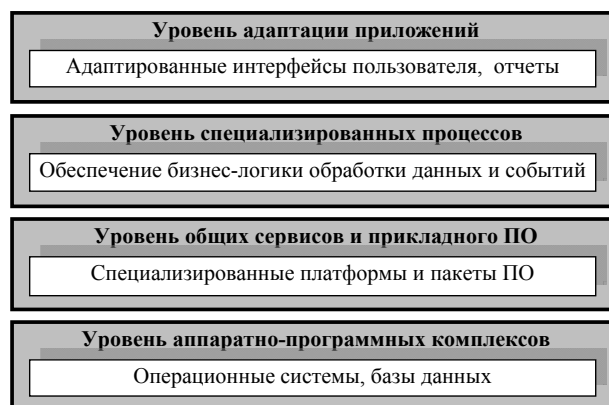


Рис.3. Декомпозиция IT-системы на функциональные уровни

высокоуровневыми подходами к разработке, внедрению информационных систем и практическими, детально проработанными концепциями разработки программного обеспечения, что затрудняет их совместное практическое применение в реальных IT-проектах. В частности, это также относится к широко применяемым в настоящее время методологиям RUP, Agile.

Таким образом, представляется целесообразным формирование методики комплексного использования в IT-проектах элементов различных методологий и подходов к управлению разработкой информационных систем разного объема и сложности, основываясь на их преимуществах и недостатках, а также на особенностях объектов проектирования.

Декомпозиция процессов разработки на основе анализа архитектуры и особенностей жизненного цикла IT-систем

В работе [8] предлагается выполнять проектирование сложных информационно-компьютерных систем последовательно по стратам, соответствующим группам характеристик и свойств: цели, функции, структура, информационные потоки, структуры данных, алгоритмы, программное и аппаратное обеспечение 3-х сторон. Такая декомпозиция процесса разработки в целом согласуется с применяемым рядом разработчиков разделением системы на функциональные уровни (см. Рис. 3). В данном случае при разработке сложных IT-систем, под проектными действиями понимается не только разработка отдельных компонентов системы, но и решение системотехнических задач адаптации, развития и комплексирования существующих подсистем. Разработкам на описанных выше функциональных уровнях сложной информационной системы ставится в соответствие последовательность проектных действий по стратам, как показано на рис. 4.

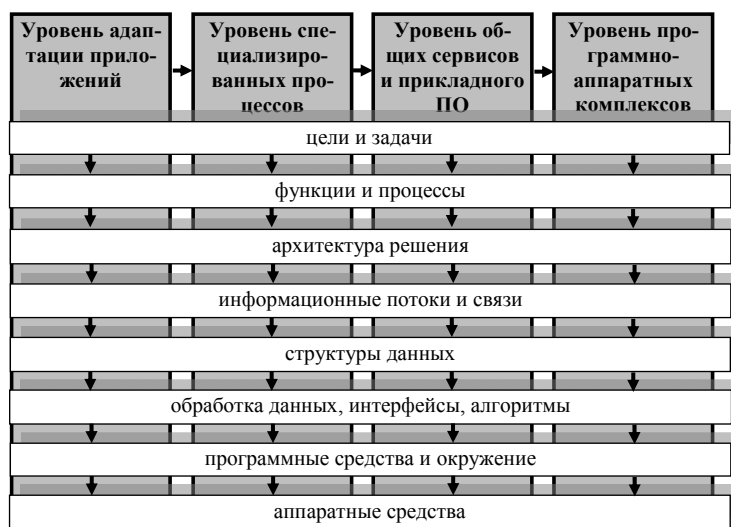


Рис. 4. Стратифицированный подход к разработке IT-систем

При этом проектные действия выполняются последовательно для каждого функционального уровня и по каждой страте представления системы. Очевидно, что длительность, интенсивность и специфика проектных действий на каждом из функциональных уровней зависит от текущего этапа разработки этапа и объемов планируемых изменений в системе, поэтому при выборе методологий управления проектами разработки сложных систем необходимо также учитывать особенности жизненного цикла IT-систем.

Для телекоммуникационной отрасли организацией TMF разработана подробная методология разработки и внедрения информационных систем (OSS/BSS) New Generation Operations Systems and Software (NGOSS) [9], в составе которой сформулирована концепция жизненного цикла информационных систем.

Важнейшими достоинствами этой методологии является учет возможных изменений требований заказчика при эксплуатации системы, описание развития системы как циклично повторяющихся процессов анализа, разработки и внедрения, наличие четкой классификации, иерархии производственных целей, функций телекоммуникационного предприятия и связанных с ними информационных систем. На рис. 5 показано общее представление жизненного цикла разработки систем в нотации TMF NGOSS.

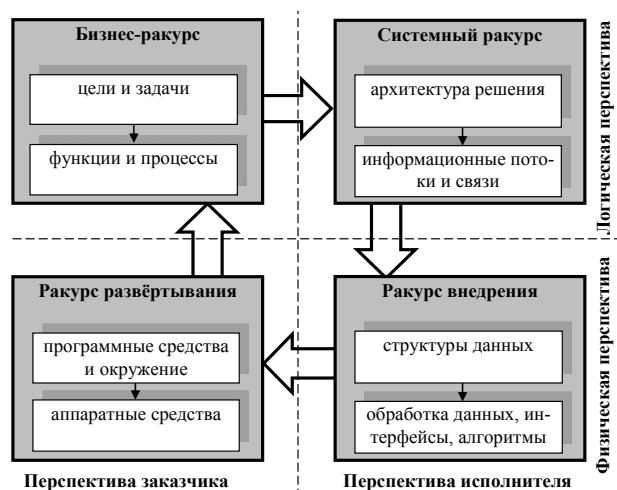


Рис.5. Жизненный цикл IT-систем в соответствии с TMF NGOSS

Из рис. 5 следует, что ракурсы, соответствующие определенным этапам жизненного цикла, отражают позицию заинтересованных сторон проекта (заказчика, исполнителя) и фокус, приоритеты текущей проектной деятельности. На каждом последующем этапе «глубина» деятельности разработчиков увеличивается, охватывая большее количество функциональных характеристик и свойств системы. Например, на ракурсе развертывания проектные действия выполняются по всем стратам: от целевой страты до страты аппаратных средств (см. рис. 6).

Однако, не смотря на преимущества рассматриваемых подходов, в рамках которых предлагаются практические подходы к декомпозиции IT-систем отдельной предметной области и высокоуровневое представление жизненного цикла IT-проектов, необходимо отметить, что в данных концепциях отсутствуют подробные рекомендации по организации соответствующих им процессов разработки и внедрения.

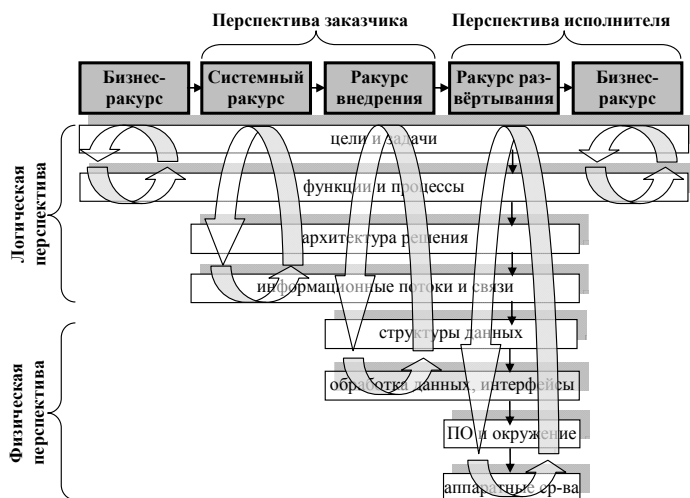


Рис. 6. Изменение фокуса процессов создания IT-систем в течение жизненного цикла разработки

Кроме того, концепция жизненного цикла NGOSS, к сожалению, рассматривает процесс развития системы без явно выделенного периода эксплуатации, подразумевая, что этот этап соответствует бизнес ракурсу. В то же время, развитие информационной системы продолжается и в процессе эксплуатации. Для телекоммуникационной отрасли, как уже отмечалось выше, этот фактор является очень существенным.

В ряде рекомендаций по управлению эксплуатацией корпоративных IT-систем и сервисов, например CobIT [10] выделяется отдельный этап

сопровождения. С точки зрения разработки ИТ-систем, эксплуатируемых в телекоммуникационной отрасли, данный этап обычно является продолжением развития в виде множества проектных активностей с меньшим масштабом, глубиной и длительностью, направленных на улучшение характеристик и функций системы, адаптацию и приспособление к текущим требованиям. Как правило, заказчиком формируется множество запросов на изменения (Change Request), которые оформляются исполнителем как мини проекты. В соответствии с декомпозицией ИТ-системы телекоммуникационного предприятия, показанной на Рис. 3, на этапе эксплуатации подобные проектные действия сфокусированы на уровнях адаптации и специализированных процессов. Действия, связанные с изменениями на уровнях общих сервисов, программно-аппаратных комплексов, относятся к фундаментальным проектам и программам модернизации или начальной разработки информационной системы.

Таким образом, процессы разработки, внедрения и эксплуатации ИТ-систем в соответствии с положениями NGOSS можно представить как последовательность действий в соответствии с ракурсами бизнеса, системы, внедрения и развертывания, но с определенным для каждого ракурса составом рассматриваемых уровней функциональной архитектуры. На рис. 7 показана подобная последовательность проектных действий для разработки внедрении ИТ-системы и последующей поддержки эксплуатации.

В соответствии со сделанным предположением о различных требованиях, предъявляемых к развитию ИТ-систем на различных стадиях жизненного цикла, рассмотрим особенности соответствующих ИТ-проектов, выполняемых на этих этапах. В табл. 2 показано сопоставление характеристик ИТ-проектов, выполняемых на двух основных стадиях жизненного цикла информационной системы телекоммуникационного предприятия.

Несмотря на явные различия характеристик проектов на стадиях разработки и эксплуатации системы, необходимо отметить, что спектр затрагиваемых свойств системы в каждом из подобных проектов остается широким и зависит от масштаба и глубины выполняемых действий на стадиях разработки или изменений на стадии эксплуатации ИТ-системы соответственно. Например, небольшие изменения на функциональном уровне адаптации системы могут повлечь изменения свойств и характеристик этого уровня, соответствующих не только стратам целей, функций, но и стратам интерфейсов и алгоритмов, программных средств, аппаратных ресурсов. Эта особенность проиллюстрирована на рис. 7, где показана «глубина» проектных действий относительно страт представления ИТ-системы.

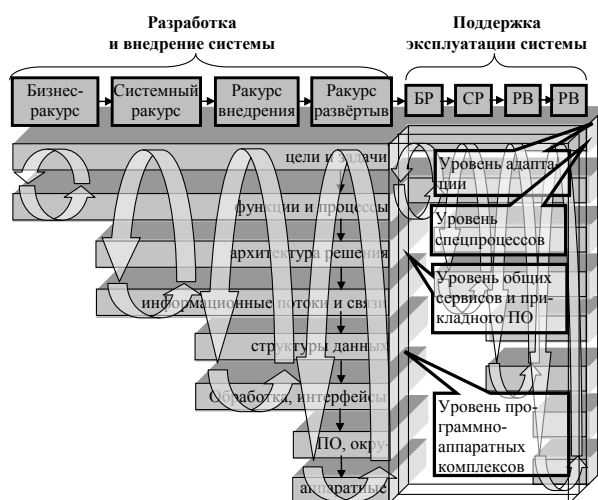


Рис. 7. Действия по развитию ИТ-системы на этапах разработки, внедрения и поддержки эксплуатации

**Таблица 2- Характеристики проектов, выполняемых на основных стадиях
жизненного цикла информационной системы**

Характеристики проектов	Стадия разработки и внедрения	Стадия поддержкиэксплуатации
Масштаб	От проектов среднего до очень большого масштаба. Затрагиваются все функциональные уровни системы, часть компонентов проектируется и разрабатывается заново.	От проектов очень небольшого до среднего масштаба. Как правило, затрагиваются функциональные уровни, отвечающие за взаимодействие с пользователями, внешними подсистемами, иногда – за специализированную обработку данных
Длительность	От нескольких месяцев до нескольких лет	От нескольких дней до нескольких недель.
Требования к качеству	Высокие требования к качеству, обусловленные большим масштабом изменений и уровнем влияния на существующее окружение	Средние и невысокие требования в виду небольшого масштаба изменений и ограниченного влияния на окружение и на выполняемые функции в результате каждого отдельного изменения
Требования к преемственности	Необходимо обеспечить устойчивое и стабильное развитие на основе использования открытых расширяемых решений, создания артефактов, подробно описывающих разработанные компоненты. Результаты данной стадии являются основой для последующего развития	Как правило, вносимые изменения являются локальными, дальнейшее развитие может предполагать полную замену внесенных изменений
Периодичность	Раз в несколько лет	До нескольких мини-проектов в месяц

Сформулированные особенности проектов разработки на разных стадиях жизненного цикла информационной системы позволяют определить требования к методике управления соответствующими проектами.

Возможности использования методологий RUP и Agile на различных этапах разработки IT-систем

С учетом особенностей методологий управления разработкой программной продукции, перечисленных в табл. 1, определим преимущества и недостатки RUP и Agile-подобных подходов применительно к проектам различного масштаба и длительности (см. табл. 3).

На основе исследования преимуществ и недостатков методологий управления разработкой программной продукции, требований и ограничений проектов на различных стадиях жизненного цикла информационных систем можно сформулировать следующие рекомендации по применению:

- подходы RUP имеет смысл применять для управления крупными, долгосрочными проектами уровня предприятия со средней и высокой сложностью;

- методология Agile удобна для быстрой разработки небольших задач и проектов с нечетко определенными объемами и сроками.

Таблица 3.Преимущества и недостатки RUP и Agile-подобных методологий при выполнении проектов различного масштаба и длительности.

		RUP	SCRUM
Длительные масштабные проекты	преимуществ	Детальное планирование проекта. Создание артефактов (документации), описывающих цели и результаты проекта. Всеобъемлющие процедуры тестирования, сдачи и приемки решений на этапе внедрения.	
	Недостатки	Необходимость привлечения выделенных высококвалифицированных специалистов различной специализации (аналитики, тестировщики, интеграторы), которые выполняют задач не на постоянной основе, а в соответствии с планом проекта.	Короткий этап планирования проекта без детальной проработки решения. Планирование основывается на высокоуровневой декомпозиции на отдельные блоки и не предполагает предварительного анализа требований, что повышает риски невыполнения проекта
Краткосрочные, небольшие проекты	преимущества		Высокая эффективность использования ресурсов, выполнение разработки от начала до конца одними исполнителями. Отсутствие длительных подготовительных процедур. Разбиение проекта на несколько этапов минимизирует риски несоответствия по качеству.
	Недостатки	Высокий уровень затрат на вспомогательные операции, не оправданный для небольших проектов. Артефакты, сопровождающие создание программной продукции являются излишними.	Высокие требования к квалификации исполнителей, необходимость владения несколькими специализациями. Разбиение проекта на этапы без детального планирования увеличивает риски несоответствия по времени и стоимости.

На основании сопоставления данных выводов и данных таблицы 1 (например, с использованием принципов SWOT), сформулируем выводы о предпочтительном применении методологий управления разработкой программных продуктов на различных этапах жизненного цикла IT-проекта (см. табл. 4). Необходимо отметить, что принятые в методологии RUP этапы разработки Inception, Elaboration, Construction и Transition во многом согласовываются с ракурсами жизненного цикла разработки внедрения IT-систем NGOSS: бизнес, система, внедрение и развертывание, соответственно. Особенностью является параллельное использование двух методологий на этапе внедрения. На этом этапе жизненного цикла информационной системы определяются объемы необходимой поддержки, желаемой модернизации, планируются итерации по развитию на конкретный период времени (например,

календарный год).

Таблица 4. Методологии управления созданием программных продуктов и жизненный цикл разработки и развития ИТ-систем

Жизненный цикл ИТ системы	Применяемые методологии	
	RUP	Agile-подобные
Планирование и анализ требований (бизнес-курс)	Inception	
Проектирование (системный курс)	Elaboration	
Реализация (курс имплементации)	Construction	
Внедрение (курс развертывания)	Transition	Предварительное проектирование
Поддержка эксплуатация (мн-во небольших изменений)		Последовательность итераций

Предложенная в табл. 4 схема является одним из возможных подходов к управлению развитием информационных систем на основе нескольких методологий, которые на первый взгляд не совсем совместимы, но в то же время, являются наиболее эффективными на различных этапах жизненного цикла.

Таким образом, предложен общий подход к формированию комплекса методологий управления ИТ-проектами в телекоммуникационной отрасли, для которой характерно наличие нескольких противоречивых фундаментальных требований к развитию OSS/BSS:

- 1) Определение основных противоречий в процессах развития ИТ-проектов.
- 2) Декомпозиция процессов развития ИТ-проектов в соответствии с жизненным циклом NGOSS на компоненты (этапы), в которых данные противоречия локализованы и не являются существенными.
- 3) Определение возможностей и ограничений, предъявляемых на каждом из этих этапов ИТ-проекту.
- 4) Сопоставление преимуществ и недостатков известных методологий с полученными возможностями и ограничениями процессов на каждом их этапов ИТ-проекта. На этом шаге возможно применение различных подходов к анализу преимуществ и недостатков, возможностей и ограничений, например SWOT.
- 5) Формирование, на основании выполненного анализа, комплекса методик, последовательно применяемых для управления ИТ-проектами, на каждом этапе жизненного цикла системы.

Выводы

В работе сформулирован общий подход к применению нескольких методологий управления разработкой ПО в рамках проектов развития ИТ-систем. В качестве базовой концепции жизненного цикла информационной систем выбрана рекомендация NGOSS, дополненная промежуточным этапом сопровождения между циклами развития.

Показана возможность удовлетворения изначально противоречивых требований, предъявляемых к ИТ-проектам телекоммуникационной предприятия,

на основе декомпозиции функциональной архитектуры и перенесения основной нагрузки по выполнению небольших задач по адаптации и изменений интерфейсов и бизнес-процессов на отдельные функциональные уровни. Это, в свою очередь, позволяет использовать методологию RUP для IT-проекта разработки и внедрения, и методологии семейства Agile для управления мини-проектами изменений на этапе сопровождения эксплуатации. Также показано, что независимо от рассматриваемого функционального уровня на каждом из этапов в IT-проектах могут затрагиваться все группы свойств и характеристик: от целей системы до используемых программных и аппаратных средств.

К преимуществам такого подхода относится использование известных методологий управления разработкой, которые уже сопровождаются необходимыми инструментальными средствами, навыками и знаниями исполнителей. К недостаткам следует отнести сложности при переходе от одной методике к другой в последовательности IT-проектов, относящихся к разработке, внедрению и поддержке эксплуатации одной и той же информационной системы.

В рамках предложенного подхода в дальнейшем целесообразно разработать классификацию известных методологий управления разработкой программных продуктов проектами с целью формирования универсальных рекомендаций по формированию комплекса наиболее оптимальных методов управления отдельно взятыми IT-проектами.

Список литературы: 1. CobiT Mapping: Mapping of PMBOK with CobiT 4.0 / – USA: IT Governance Institute, 2006. – 44 p. 2. A guide to the project management body of knowledge. (PMBOK Guide) [текст] : Fourth Edition. – USA : PMI, Inc., 2008. – 467 p. 3. Pristley, M. A Unifed Process for Software and Documentation Development / Michael Pristey, Mary Hunter Utt – 0-7803-6431-7/00/\$10© 2000 IEEE, 2000. – pp. 221-238. 4. Cobb, C.G. Making Sense of Agile Project Management / Charles G. Cobb – NJ: John Wiley & Sons Inc., 2011. – 245 p. 5. Udo, N. Will Agile Development Change the Way We Manage Software Projects? Agile form PMBOK® Guide Perspective [электронный ресурс] / Natalie Udo, Sonja Koppensteiner – ProjectwaybLLC, 2002 – Режим доступа : \WWW/ URL: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?0.1.1.125.3.pdf&ei=QK4nT-2dE8vktQbTw8G4AQ&usg=AFQjCNESlOqJVku-aypO2AUtmQ7JkjmD5g>. 6. What is the difference between RUP and SCRUM methodologies? [электронный ресурс] / Chiron Professional Journal – Режим доступа : \WWW/ URL: <http://www.chiron-solutions.com/chiron-professional-journal/2010/12/20/what-is-the-difference-between-rup-and-scrum-methodologies>. 7. Mohagheghi, P. The Impact of Software Reuse and Incremental Development on the Quality of Large Systems: Doctoral Thesis / Parastoo Mohagheghi – Trondhei : Norwegian University of Science and Technology, 2004. – 272 p. 8. Илюшко, В. М. Модели и методы информационной технологии проектирования метасистем [рук.] : дис. д-ра техн. наук: 05.13.06 / В. М. Илюшко. – Харьков : ХАИ, 1998. – 451 с. 9. New Generation Operational Support Systems (“NGOSS”). Architecture Overview. Public Version 1.500 [Электронный ресурс] / The TeleManagement Forum. – 2003. – Режим доступа : \WWW/ URL : <http://www.tmforum.org/sdata/documents/TMFC763%20GB920v1.5.pdf> – 10.11.2011 г. – Загл. с экрана. 10. CobiT 4.1: Framework, Control Objectives, Management Guidelines, Maturity Models / – USA: IT Governance Institute, 2007. – 196 p.

Поступила в редколлегию 26.06.2012

УДК 004.6:681.5

Ю.В. ПАРФЕНЕНКО, асис., СумДУ, Суми,
Р.П. ОКОПНИЙ, студ., СумДУ, Суми,
В.Г. НЕНЯ, канд. техн. наук, доц., СумДУ, Суми

РОЗРОБКА ІНСТРУМЕНТАЛЬНИХ ЗАСОБІВ КОНТРОЛЮ ТЕПЛОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БУДІВЕЛЬ

Стаття присвячена проблемам автоматизації контролю теплозабезпечення будівель, для вирішення яких автори пропонують нові інструментальні засоби. Описано структурну схему пристрою збирання даних для контролю теплозабезпечення, основою якого є мікроконтролер, та його основні функціональні можливості.

Ключові слова: контроль, теплозабезпечення, пристрій, моніторинг, автоматизація.

Статья посвящена проблемам автоматизации контроля теплообеспечения зданий, для решения которых авторы предлагают новые инструментальные средства. Описаны структурная схема устройства сбора данных для контроля теплообеспечения, основой которого является микроконтроллер, и его основные функциональные возможности.

Ключевые слова: контроль, теплоснабжение, устройство, мониторинг, автоматизация.

The article is devoted to the problems of automation control of heating of buildings to solve the authors propose new tools. Structural diagram of data collection device to control heating, based on microcontroller, and its basic functionality is described.

Keywords: control, heating supply, device, monitoring, automatization.

Вступ

Одним із заходів реалізації напрямів політики підвищення рівня енергетичної безпеки України, надійності та ефективності теплопостачання, сталого розвитку галузей паливно-енергетичного комплексу країни є застосування систем обліку та засобів регулювання споживання енергетичних ресурсів в усіх галузях економіки та в комунально-побутовій сфері. Розробка та впровадження систем автоматизованого контролю та управління енергоспоживанням об'єктів промисловості стає одним з пріоритетних напрямків політики держави в галузі енергозбереження.

Заходи з енергозбереження можуть реалізовуватися на двох рівнях. Заходи першого рівня полягають в переоснащенні системи теплопостачання, утепленні будинків. Значний потенціал міститься в заходах другого рівня, що полягають в реалізації таких задач як контроль якості і обліку обсягів споживання теплоти і інших енергетичних ресурсів, які споживаються для забезпечення теплового комфорту у будинку; збір і постійний аналіз даних про витрати теплоносія, теплової енергії, а також температури у подавальному і зворотному трубопроводах теплової мережі. Особливістю їх реалізації є необхідність

комплексного вирішення задач по автоматизації обліку споживаних енергоресурсів на об'єктах промисловості та бюджетній сфері.

Постановка задачі

Одним з найважливіших завдань розробки інформаційного та програмного забезпечення в галузі теплопостачання є автоматизація процесу збирання вхідних даних, що є основними показниками контролю функціонування централізованого теплопостачання є автоматизація збирання вхідної інформації.

Для реалізації задачі контролю теплозабезпечення будівель бюджетної сфери необхідно розробити інструментальні засоби – складові автоматизованої підсистеми моніторингу теплозабезпечення будівель. Ключовою ланкою даної системи є пристрій збирання даних та програмні засоби керування даним пристроєм. Пристрій повинен одержувати вхідні дані, опитуючи різні електронні датчики. Зокрема, в системі моніторингу стану теплової мережі використовуються датчики температури та тиску на різних її ділянках. Також пристрій має бути здатним обробляти дані з електронних лічильників електроенергії, теплової енергії та газу. Головними вимогами до пристрою такого класу є забезпечення можливості його автономної роботи та передачі зібраних даних в онлайн-режимі на веб-сервер. Створений пристрій повинен мати можливість зміни функціональності шляхом модифікації програми для мікроконтролера.

Аналіз попередніх досліджень

Проблемам автоматизації обліку споживання енергетичних ресурсів, контролю та керування централізованим теплопостачання присвячено роботи вітчизняних та зарубіжних вчених Чистовича С. А., Дубового В. М., Кабачія В. В., Євдокімова А. Г., Вернстенда Ф. та ін. Основним параметром автоматизації є можливість вимірювання, контролю та регулювання кількості спожитого тепла [1]. В роботі [2] запропоновано інформаційну технологію моніторингу функціонування системи теплопостачання, основним недоліком якої є відсутність підсистеми автоматизації, що викликає необхідність занесення оперативних даних до системи в ручному режимі. На сьогоднішній день існує широкий спектр приладів обліку та контролю, проте необхідно враховувати характеристики об'єкта, що підлягає автоматизації, об'єми даних, що їх описують, тому архітектура системи диспетчеризації та контролю реалізується в кожному випадку індивідуально, універсальних рішень не існує. Все більшої популярності набувають рішення з використанням GSM/GPRS [3], що дозволяє проводити моніторинг територіально розподілених об'єктів на базі єдиної автоматизованої системи.

Виклад основних результатів дослідження

В загальному випадку автоматизована диспетчеризація заснована на автоматичній передачі інформації з підстанцій, контрольно-розподільних і теплових пунктів в центральний диспетчерський пункт. З цією метою у всіх характерних пунктах теплової мережі розміщуються автоматичні прилади (контролери), що забезпечують передачу електричних сигналів про показання контрольно-вимірювальних приладів, на центральний пульт управління. Основними принципами створення автоматизованої системи контролю

теплозабезпечення є безперервність моніторингу, забезпечення повноти і своєчасності подання інформації, максимальне задоволення інформаційних запитів споживача структурованість подання інформації.

Враховуючи територіальну розподіленість об'єктів моніторингу було обрано спосіб збирання даних моніторингу з використанням технології GSM/GPRS. У ході проведеного дослідження проаналізовано два способи реалізації передачі даних. Перший спосіб полягає у передачі через SMS повідомлення на сервер електронної пошти. Сайт в такому разі повинен буде опитувати електронну скриньку та обробляти нові листи і заносити дані моніторингу в базу даних. Другим способом є подача HTTP запиту до відповідних сенсорів. Цей метод потребує використання протоколу доступу до інтернету GPRS, що зумовлює використання GSM модему зі влаштованим TCP/IP стеком протоколів. Передача даних на сервер в такому випадку реалізована шляхом використання GSM модему [4].

Основою розробленого приладу (рис. 1) є однокристальний мікроконтролер (МК). Його задаючий генератор працює на частоті 6 МГц. Для індикації збоїв в його роботі або візуалізації різних режимів пристрій має три світлодіоди різного кольору. Шість виводів мікросхеми сконфігуровано в режимі аналого-цифрового перетворювача. Це потрібно для перетворення аналогового сигналу з датчика в цифрову форму.

До виводів 2, 3 по протоколу UART підключено GSM модем. Управління модемом виконується через ці послідовні лінії зв'язку. Також до GSM модуля підведені лінії живлення та сигнал ввімкнення. Для забезпечення контролю за доступом до апаратного забезпечення на вивід 4 МК підімкнено кнопку, яку встановлено на корпусі пристрою. При відпусканні/натисканні на кнопку в МК виникає переривання номер 0, і пристрій відправляє повідомлення про відкриття корпусу. Щоб забезпечити можливість зміни налаштувань пристрою, у схемі передбачено встановлення роз'єму X1 для програматора. Основні компоненти мікроконтролера показано на рис.2.

Мікроконтролер працює по заданій програмі, яка написана на мові програмування високого рівня C++. Він слідкує за часом, і в програмно заданих інтервалах опитує декілька датчиків температури та тиску. В установках керуючої програми можна задавати інтервал часу опитування сенсорів, що є зручним, так як головною особливістю системи теплопостачання є сезонність її роботи. Сенсори можна опитувати раз в годину, добу, місяць тощо.

Прилад, використовуючи таймер номер 1, формує переривання з частотою, рівною одній секунді. Це дає можливість вести статистику, скільки часу пристрій був ввімкнений, і скільки годин, хвилин та секунд пройшло з часу останнього ввімкнення пристрою. Це також потрібно для того, щоб пристрій міг точно

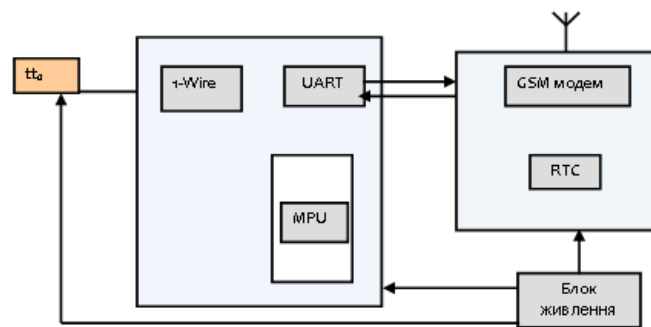


Рис. 1. Структурна схема приладу

відміряти час між контрольними замірюваннями параметрів функціонування теплової мережі.

Незадіяні виводи МК можна буде використати для підключення цифрових датчиків по протоколу 1-Wire.

Також прилад оснащено системою безпеки. Наприклад, якщо корпус пристрою було відкрито, то оператор системи дізнається про це миттєво шляхом одержання SMS повідомлення.

Принцип передачі даних від приладу до бази даних web-сайту моніторингу теплозабезпечення зображено на рис.3.

По протоколу RS232 до мікроконтролера під'єднано GSM модем. У стандартному варіанті виконання до одного модулю можна підключити один прилад. На вимогу замовника можливості можуть бути розширені для підключення декількох вимірювальних приладів – датчиків тиску та температури. Після кожного чергового опитування усіх встановлених датчиків прилад пересилає одержані дані за допомогою СМС повідомлення на номер 555, в форматі повідомлення вказується e-mail адресу одержувача СМС. Таким чином ми отримуємо всі дані на поштову скриньку. Дані з результатами вимірювань передаються з часовими мітками, щоб можна було синхронізувати результати в базі даних навіть якщо вони прийшли в один час.

Для того, щоб дані з поштової скриньки на mail-сервері розмістити в базі даних на веб-сервері сайту моніторингу теплозабезпечення, розроблено програмний засіб, який кожну хвилину виконується на веб-сервері, контролюючи надходження повідомлень до поштової скриньки та опрацьовуючи нові повідомлення, якщо вони є.

Основною перевагою запропонованих інструментальних засобів є їх мобільність. Обмеження для застосування системи визначається тільки зоною покриття мережі обраного мобільного оператора. Іноді для збирання даних з датчиків, встановлених у важкодоступних місцях, необхідно застосовувати антени для підсилення зони покриття.

На даному етапі реалізації основні функціональні можливості приладу полягають у тому, що він знімає дані з аналогового датчика температури та відправляє SMS повідомлення абоненту, номер якого запрограмовано в МК. Якщо зателефонувати на модем з номеру, якого немає в пам'яті пристрою, вхідний дзвінок буде проігноровано.

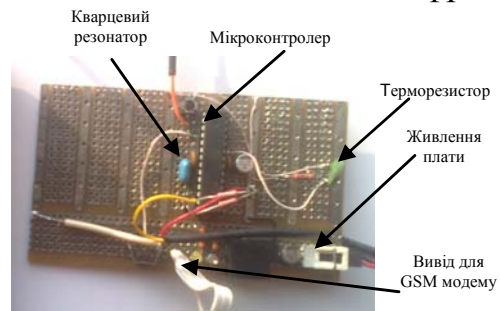


Рис. 2. Основні елементи плати мікроконтролера



Рис. 3. Схема передачі даних на сервер

Дані заносяться в єдину таблицю бази даних MySQL, яка розташована на web-сервері. База даних представлена єдиною сутністю, що містить наступні атрибути: ID - ідентифікаційний номер запису опитування усіх датчиків, що стосуються об'єкту моніторингу, Server Date_Time – дата та час розміщення даних, Number – номер об'єкта моніторингу, Time – часова мітка, яка необхідна для розміщення даних в базі за порядком їх зняття, T_0 – температура навколишнього середовища, T_1 – температура теплоносія у прямому трубопроводі, T_2 – температура теплоносія у зворотньому трубопроводі, T_3 – температура теплоносія після підмішування, P_1 – тиск у прямому трубопроводі, P_2 – тиск у зворотньому трубопроводі.

Кількість датчиків температури фактично не обмежена, тому інформаційну модель доцільно доповнити даними температури в опалювальних приміщеннях. Кількість датчиків тиску, які може опитувати один пристрій, не повинна перевищувати шести, що є достатнім в рамках поставленої задачі. Таким чином дані, одержані за допомогою даного приладу, є основою для оцінки функціонування теплозабезпечення будівель та прийняття рішень щодо можливої необхідності регулювання відпуску теплової енергії.

Висновки

Досліджено проблему автоматизації контролю теплозабезпечення будівель та основні шляхи її вирішення. Розглянуто основні підходи до автоматизації контролю теплозабезпечення будівель. Використано підхід на основі технології передачі даних GSM/GPRS, що зумовлено територіальним розташуванням об'єктів моніторингу. Запропоновано структурну схему приладу на основі мікроконтролера для збирання даних щодо параметрів функціонування теплової мережі – температури та тиску. Розроблено інструментальні засоби керування мікроконтролером та розміщення даних на web-сайті моніторингу теплозабезпечення.

Список літератури: 1. Дубовой В. М. Контроль та керування в мережах тепlopостачання : [Монографія] / В. М. Дубовой, В. В. Кабачій, Ю. М. Паночишин – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2005. – 190 с. 2. Парфененко Ю. В. Інформаційна технологія моніторингу функціонування системи тепlopостачання підвищеної надійності / Ю. В. Парфененко, В. Г. Неня // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2010. – № 4/9 (46). – С. 22-25. 3. Мониторинг и поддержка принятия решений в системе городского теплоснабжения на базе гетерогенной беспроводной сети / А. Г. Финогеев, В. Е. Богатырев., В. А. Маслов, А. А. Финогеев // Известия Волгоградского государственного технического университета. Серия Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах. – 2011. – № 3 (76). – С. 73-81. 4. Окопний Р. П. Пристрій збирання і передачі даних функціонування теплової мережі / Р. П. Окопний, Ю. В. Парфененко // Радіoeлектроніка і молодь в ХХІ столітті : 16-й міжнародний молодіжний форум., 17-19 квітня 2012 р. : тези доп. – Х., 2009. – Т. 2. – С. 105-106.

Надійшла до редколегії 15.06.2012

А.И. ТАРАСОВ, докт. техн. наук, с.н.с., проф., НТУ «КПИ», Харьков,
О.А. ЛИТВИНЕНКО, канд. техн. наук, доц., НТУ «КПИ», Харьков

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛООБМЕНА В ПОРИСТЫХ СРЕДАХ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К СИСТЕМАМ ОХЛАЖДЕНИЯ ГАЗОВЫХ ТУРБИН

У статті сформульована модель двофазного переносу в пористому середовищі, яке насичене теплоносієм і показана чисельна реалізація даної моделі. Наведені результати чисельного моделювання теплового стану багатошарової системи, що складається з твердого і пористого тіл.

Ключові слова: двофазне середовище, пористе середовище, тепловий стан, чисельне моделювання

В статье сформулирована модель двухфазного переноса в пористой среде, насыщенной теплоносителем и показана численная реализация данной модели. Приведены результаты численного моделирования теплового состояния многослойной системы, состоящей из твердого и пористого тел.

Ключевые слова: двухфазная среда, пористая среда, тепловое состояние, численное моделирование

In the article the model of two-phase transport in porous media saturated with coolant is formulated and the numerical implementation of this model is shown. The numerical simulation of the thermal state of a multilayer system consisting of solid and porous bodies is shown.

Keywords: two-phase medium, the porous medium, the thermal state, numerical modeling

1. Введение

Тепловые трубы с пористым наполнителем все чаще применяются в различных технических устройствах. Например, в последних типах систем охлаждения космических аппаратов используются тепловые трубы для отвода теплоты от различной электронной аппаратуры. Тепловые трубы с пористым наполнителем обладают очень высоким коэффициентом приведенной теплопроводности, что позволяет их применять для передачи больших тепловых мощностей при практически изотермических условиях. В этом смысле их применение чрезвычайно привлекательно для охлаждения элементов газовых турбин.

Известно, что делались попытки применения тепловых труб без пористой структуры (термосифонов) для охлаждения рабочих лопаток газовых турбин. Тепловые трубы, в которых возврат теплоносителя в испаритель происходит за счет капиллярных сил, могут быть использованы в перспективе, о чем свидетельствует анализ литературных источников. Однако их применение сдерживается отсутствием приемлемых технических и теоретических решений. Это позволяет сформулировать задачу исследования как создание метода моделирования процессов теплообмена и движения рабочего тела в пористой системе и обоснование возможности использования пористых систем, насыщенных жидкими металлами, с целью охлаждения лопаток газовых турбин.

2. Анализ литературных данных и постановка задачи

Несмотря на значительный интерес к тепловым трубам, их теория, на наш взгляд, разработана в недостаточной мере. Как правило, расчёты выполняются на основе упрощенных соотношений для гидравлических потерь в контурах труб и балансовых соотношений для подведенной и отведенной теплоты. Таким образом, процессы течения и теплообмена в пористой структуре практически исключаются из рассмотрения.

В [1] была разработана теория, описывающая поведение теплоносителя в пористой структуре с учетом кипения, т.е. в модели присутствовали паровая и жидкая фазы. Было введено понятие двухфазной смеси, которая включает в себя уравнения сохранения массы, импульса и энергии, а также граничные и начальные условия, которые были получены на основе традиционной модели независимого движения фаз. Все физические свойства многофазной смеси являются следствием свойств ее составляющих, поэтому для построения уравнений сохранения определены усредненные свойства смеси – плотность смеси, массовая скорость смеси, кинематическая вязкость смеси:

$$\rho = \rho_l s + \rho_v (1 - s), \quad \rho \mathbf{u} = \rho_l \mathbf{u}_l + \rho_v \mathbf{u}_v, \quad v(s) = \frac{1}{\frac{k_{rl}(s)}{v_l} + \frac{k_{rv}(s)}{v_v}} \quad (1)$$

где s – влагосодержание, показывающее какая часть объема пустот занята жидкостью, $\mathbf{u}$ – вектор поверхностной (или Дарсиановской) скорости, относящийся ко всей области поперечного сечения в области как жидкой фазы, так и пористой среды, индексы l и v указывают на жидкую либо паровую фазу соответственно.

Важной характеристикой является капиллярное давление – разность давлений паровой и жидкой фазы – с помощью которого осуществляется движение среды. Капиллярное давление определяется с помощью функции Леверетта $J(S)$.

$$p_c = \left(\frac{\varepsilon}{K} \right)^{1/2} \sigma J(s), \quad (2)$$

где ε – объемная пористость, σ – поверхностное натяжение, K – проницаемость.

Уравнение сохранения массы для двухфазной смеси является результатом сложения уравнений сохранения для каждой фазы. Уравнения движения получено на основе закона Дарси с учетом наличия как жидкой, так и паровой фаз. Уравнение энергии получено из общего уравнения сохранения энергии для системы, включающей в себя твердую матрицу и многофазную смесь. Предполагается, что в матрице, паре и жидкостной фазе наблюдается термодинамическое равновесие. Уравнение энергии записывается относительно энтальпии смеси и учитывает взаимные превращения жидкости в пар и наоборот

$$\Omega \frac{\partial H}{\partial t} + \nabla \cdot (\gamma_h \mathbf{u} H) = \nabla \cdot \left(\frac{\Gamma_h}{\rho} \nabla H \right) + \nabla \cdot \left(f(s) \frac{K \Delta p h_{fg}}{v_k} \mathbf{g} \right) \quad (3)$$

Введенные в (3) коэффициенты, а именно, отношения теплоемкостей Ω , коэффициент коррекции γ_h и диффузионный коэффициент Γ_h определяются, соответственно, как

$$\Omega = \varepsilon + \rho_s c_s (1 - \varepsilon) \frac{dT}{dH}, \quad \gamma_h = \left[s + \frac{\rho_v}{\rho_l} (1 - s) \right] \frac{\lambda_l(s)}{s}, \quad \frac{\Gamma_h}{\rho} = D + k_{eff} \frac{dT}{dH}. \quad (4)$$

Уравнение (3) справедливо как для двухфазной области, так и в области пара или жидкости. В двухфазной области предполагается, что передача энергии происходит только за счет диффузии, а теплообмен между скелетом пористого тела и теплоносителем отсутствует. В данной модели для описания движения двухфазной жидкости используется уравнение, записанное по изменению давления смеси

$$\nabla^2 P = \left[\varepsilon \frac{\partial \rho}{\partial t} - \nabla p \cdot \nabla \left(\frac{K}{v} \right) + \nabla \cdot \left(\frac{K}{v} \rho_k g \right) \right], \quad (5)$$

в результате решения которого получают распределение массовых скоростей фаз. Соотношение для вычисления массовых скоростей фаз:

$$\rho_l \mathbf{u}_l = \lambda \rho \mathbf{u} + \mathbf{j}, \quad \rho_v \mathbf{u}_v = (1 - \lambda) \rho \mathbf{u} - \mathbf{j}. \quad (6)$$

3. Численная реализация модели двухфазной среды

Для получения заключительной системы уравнений, к уравнению энергии (3) нами применен метод Галеркина наряду с применением метода Кранка-Николсона для интегрирования по временной координате

$$\Omega \frac{H_j - H_{j-1}}{\Delta \tau} + \nabla \cdot (\gamma_{j-1/2} u_{j-1/2} \frac{H_j + H_{j-1}}{2}) = \nabla \cdot \left(\frac{\Gamma_{j-1/2}}{\rho_{j-1/2}} \nabla \frac{H_j + H_{j-1}}{2} \right) + \nabla \cdot \left(f_{j-1/2}(s) \frac{K \Delta \rho h_{fg}}{v_k} g \right). \quad (7)$$

Полученная система уравнений решена модифицированным методом Гаусса, смысл которого заключается в исключении из системы уравнений нулевых элементов и представления матрицы в виде ленты, симметричной относительно главной диагонали

$$\left(\frac{2}{\Delta \tau} [C] + [S] \right) \{ \mathbf{H}_j \} = 2 \{ \mathbf{R} \} + \left(\frac{2}{\Delta \tau} [C] \{ \mathbf{H}_{j-1} \} - [S] \right) \{ \mathbf{H}_{j-1} \}, \quad (8)$$

где $[C]$, $[S]$ - „нестационарная” и „стационарная” матрицы соответственно, $\{ \mathbf{H}_j \}$, $\{ \mathbf{H}_{j-1} \}$ - вектор-столбец значений энтальпий на j -му и $(j-1)$ -м временному шаге, $\{ \mathbf{R} \}$ - вектор - столбец, который отображает граничные условия.

Уравнение (5) было решено методом конечных элементов в нестационарной постановке для двумерного случая, смысл которого заключается в минимизации функционала

$$I = \frac{1}{2} \int_A \left[\frac{1}{v} \frac{\partial^2 P}{\partial x^2} + \frac{1}{v} \frac{\partial^2 P}{\partial y^2} - 2QP \right] dA + \int_{S_u} \mathbf{u} P dS, \quad (9)$$

где $Q = \varepsilon \frac{\partial \rho}{\partial t} - \nabla p \cdot \nabla \left(\frac{K}{v} \right) + \nabla \cdot \left(\frac{K}{v} \rho_k g \right)$ - правая часть уравнения (5).

Выполнив ряд преобразований, получена система линейных алгебраических уравнений $[A]\{P\} = [F]$, которая была решена методом сопряженных градиентов.

Решение системы уравнений позволяет получить распределение давлений двухфазной смеси, и, используя уравнения (6), получить распределение массовых скоростей паровой и жидкой фаз, движущихся в пористой среде.

4. Моделирование теплового состояния многослойной системы

Пористые среды, насыщенные жидкометаллическим теплоносителем, могут быть применены для выравнивания температурного поля лопаток газовых турбин

за счет образования двухфазной зоны с одинаковой температурой, равной температуре насыщения при подводе теплоты со стороны газа. Поэтому следующим шагом было моделирование теплового состояния многослойной системы, состоящей из оболочки лопатки, внешняя поверхность которой нагревается газом, пористой среды, заполненного жидкометаллическим теплоносителем и внутренней охлаждаемой воздухом изолирующей тонкой стенки.

Для моделирования температурного состояния многослойной системы были сформулированы условия сопряжения и решена сопряженная задача теплопроводности твердого тела и пористой среды, насыщенной теплоносителем. Уравнение энергии для твердого тела имеет вид

$$C \frac{\partial T}{\partial t} = \nabla \cdot (\lambda \nabla T), \quad (10)$$

где C - объемная теплоемкость, λ - теплопроводность.

Решение этого уравнения было выполнено методом конечных элементов. Заметим, что свойства твердого тела (C , λ) зависят от температуры в меньшей степени, чем Ω и Γ в уравнении энергии двухфазной среды (3). Поэтому сходимость этого решения оказалась лучше.

Реализовано два подхода к решению задачи: отдельный и совместный. Первый подход заключался в последовательном решении задачи для каждого из тел (сплошного и пористого). Во втором подходе решалась полная система уравнений для двух тел вместе с дополнительными уравнениями связи.

Обозначая границу пористого тела как p (*porous*) и сплошного s (*solid*), запишем дополнительные уравнения в случае однофазного состояния теплоносителя на границе пористого тела в виде:

для сплошного тела

$$T_s - T_p = 0, \quad (11)$$

для пористого тела

$$T_p - T_s = 0. \quad (12)$$

На участках совместной границы, на которых со стороны пористого тела присутствует двухфазная среда, условия сопряжения представим в виде:

для сплошного тела

$$T_s - T_{sat} = 0, \quad (13)$$

для пористого тела

$$q_p - q_s = 0. \quad (14)$$

Таким образом, для пористого тела задается на каждой итерации тепловой поток, поступающий от сплошного тела, а температура поверхности сплошного тела приравнивается температуре кипения теплоносителя.

Для решения данной задачи могут быть заданы граничные условия первого, второго и третьего рода.

Решение задачи проводится в итерациях как по времени, так и на каждом временном шаге, где корректируются свойства среды существенно зависят от величины насыщения.

Уравнение энергии существенно нелинейное и его решение представляет определенные трудности, которые были преодолены за счет введения подходящих коэффициентов релаксации для некоторых переменных. Нелинейность уравнения еще больше усиливается в связи с фазовыми переходами, происходящими в рассматриваемой пористой системе.

5. Апробация модели передачи теплоты в многослойной системе

В пористой среде, насыщенной двухфазным теплоносителем, теплота передается посредством диффузии фаз, которая зависит от насыщенности среды жидкой фазой теплоносителя.

На основании решения сопряженной задачи теплообмена в многослойной системе были выполнены исследования по обоснованию возможности применения пористой среды с двухфазным теплоносителем для стабилизации температурного поля направляющей лопатки газовой турбины. В этом случае тепловой поток передается через систему твердое тело – пористое тело.

Для определения механизма передачи теплоты проведен численный эксперимент на модели, состоящей из твердого и пористого тел, размерами 20 мм (рис.). Тепловой поток подводится сверху к границе твердого тела, где задаются граничные условия 3-го рода. На нижней границе пористого элемента поддерживается температура, равная температуре насыщения. Через твердое тело тепловой поток передается теплопроводностью, через пористое, насыщенное двухфазным теплоносителем, посредством диффузии. В качестве теплоносителя используется жидкий натрий с температурой насыщения 881 °С.

В результате расчетов были получены температурное поле твердого тела, распределение линий насыщения в пористом теле, а также величины входящего и выходящего тепловых потоков.

Расчеты показали, что при заданных граничных условиях, по толщине твердого тела передается тепловой поток, равный 219000 Вт/м². Величина исходящего теплового потока составляет порядка 215000 Вт/м².

Погрешность вычислений в данном случае составляет 1,5%, что вполне допустимо. Поэтому можно утверждать, что в данной сопряженной системе соблюдается тепловой баланс.

Кроме того, были проведены расчеты при задании на нижней границе пористого элемента

температуры меньшей температуры насыщения. В этом случае имелся слой жидкости, через который теплота передавалась теплопроводностью. При этом тепловой баланс соблюдался с точностью 1,5%.

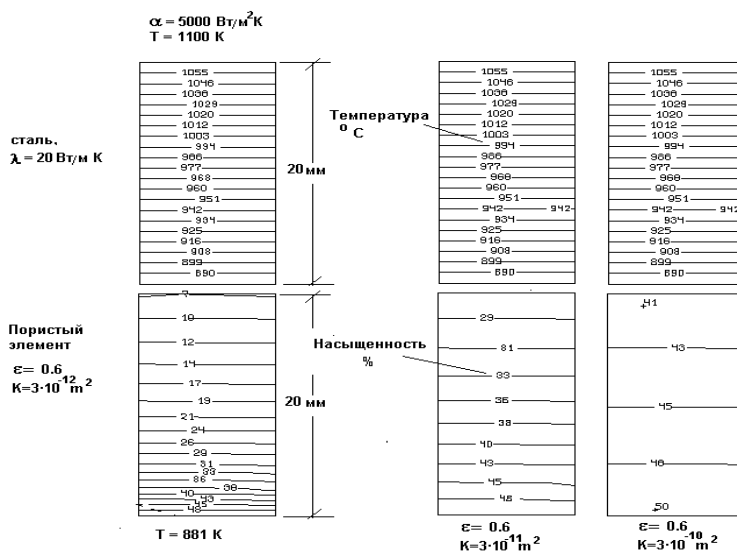


Рис. Температурное поле и распределение насыщенности В сопряженной модели твердый элемент - пористый элемент

В процессе расчетов варьировались величины пористости и проницаемости. Их увеличение приводило к росту насыщенности и практически не влияло передаваемый тепловой поток.

6. Выводы

Для применения пористых элементов в системах охлаждения газовых турбин необходимо решить задачу теплового состояния многослойной системы, состоящей из нагреваемой оболочки лопатки, пористой среды, заполненной жидкометаллическим теплоносителем и внутренней охлаждаемой воздухом изолирующей тонкой стенки.

Для решения данной задачи выполнено моделирование процессов движения и фазового перехода в пористой среде, заполненной теплоносителем, а также разработаны условия стыковки твердого и пористого элементов.

Численный эксперимент показал, что при решении сопряженной задачи теплового состояния многослойной системы, несмотря на различные механизмы передачи теплоты в твердом и пористом телах, в системе соблюдается тепловой баланс.

Список литературы: 1. A two-phase mixture model of liquid-gas flow and heat transfer in capillary porous media - I. Formulation / Chao-Yang Wang, C. Beckermann // Int. J. Heat Mass Transfer. - 1993. - Vol. 36. - No.11. - P.2747-2758.

Поступила в редколлегию 12.06.2012

УДК 504.056:614.8

О. Є. ВАСЮКОВ, докт. хім. наук, проф., зав. каф., НУЦЗУ, Харків,
Є. О. ВАРИВОДА, канд. геогр. наук, доц., НУЦЗУ, Харків,
В. А. АНДРОНОВ, докт. тех. наук, проф., НУЦЗУ, Харків,
Є. В. ІВАНОВ, здоб., НУЦЗУ, Харків

ТЕХНОГЕННІ І ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ

Показана необхідність впровадження екосистемного підходу до оцінки впливів на навколишнє середовище (ОВНС) надзвичайних ситуацій (НС) техногенного характеру шляхом розробки нормативного документу з ОВНС. Методологія його створення може формуватися на даних, отриманих в ході ліквідації НС, пов'язаних з вибухами боєприпасів на арсеналах і складах України.

Ключові слова: надзвичайні ситуації, вибухи на арсеналах та складах, техногенний вплив, екологічна небезпека, цивільний захист

Показана необходимость внедрения экосистемного подхода к оценке воздействия на окружающую среду (ОВНС) чрезвычайных ситуаций (ЧС) техногенного характера путем разработки нормативного документа по ОВОС. Методология его создания может формироваться на данных, полученных в ходе ликвидации ЧС, связанных с взрывами боеприпасов на арсеналах и складах Украины.

Ключевые слова: чрезвычайные ситуации, взрывы на арсеналах и складах, техногенное воздействие, экологическая опасность, гражданская защита

The necessity of ecosystem approach to the environmental assessment of emergencies of technogenic character is shown in the article. The question of corresponding regulative document development is studied. The methodology of environmental assessment in case of emergencies may be grounded on the data obtained during the liquidation of emergencies related to the explosions at Ukrainian arsenals and storages.

Keywords: emergencies, explosions, technogenic impact, environmental hazard, civil defense

Постановка проблеми

Надзвичайна ситуація техногенного характеру (НСТХ) призводить не тільки до порушення нормальних умов життя і діяльності людей на окремій території, загибелі людей та/або значних матеріальних втрат [1], але й до суттєвих трансформаційних змін функціонування екосистеми. Як правило, розмір цієї екосистеми визначається районом впливу НСТХ і він значно ширше, ніж **зона ураження** (тут і надалі по тексту виділено авторами).

Таким чином, НСТХ впливають не тільки на стан **соціальної і економічної сфери** на окремій території. Впливу піддається вся екосистема, стан якої мають

оцінювати підрозділи МНС, відповідно до Положення про державну систему моніторингу довкілля [2]. Але підрозділи МНС не мають відповідних аналітичних лабораторій, тому на практиці при ліквідації НС долучають служби МОЗ та Мінприроди.

Питання забезпечення якості навколишнього середовища при НС повинно ґрунтуватися на правовому регулюванні діяльності, пов'язаної з процесом управління техногенно-екологічною безпекою.

Наприклад, стосовно національного плану дій з охорони навколишнього природного середовища на 2011-2015 роки [3] МНС, сумісно з МОЗ та Мінприроди запропоновано виконувати наступні роботи:

- створення баз даних необхідних для проведення оцінки та запобігання негативному впливу на здоров'я людини чинників, що негативно впливають на навколишнє природне середовище;
- розроблення спільної методики оцінки ризику для навколишнього природного середовища та здоров'я людини, пов'язаного із забрудненням атмосферного повітря, водних об'єктів, ґрунтів;

- підготовка та подання на розгляд Кабінету Міністрів України проекту акта щодо внесення змін до пункту 6 додатка 2 Державної цільової екологічної програми проведення моніторингу навколишнього природного середовища, затвердженої постановою Кабінету Міністрів України від 5 грудня 2007 р. N 1376 (1376-2007-п), стосовно розроблення та затвердження методик оцінки якості атмосферного повітря, води (включаючи підземні води) та ґрунтів на основі оцінки ризиків.

Закон України «Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2020 року» [4] містить показники ефективності Стратегії, які спрямовано на підвищення рівня суспільної екологічної свідомості, окремо на захист від надзвичайних ситуацій. Це кількість техногенних катастроф чи надзвичайних ситуацій з негативними екологічними та економічними наслідками і створення баз даних Державного реєстру потенційно небезпечних об'єктів.

Оцінка ризику є важливим елементом в прогнозуванні НСТХ. Другим важливим елементом у життєвому циклі НСТХ є оцінка впливів на навколишнє середовище (ОВНС).

ДБН А.2.2-1-2003 [5] встановлює порядок розроблення матеріалів ОВНС у складі проектної документації на нове будівництво, розширення, реконструкцію та технічне переоснащення об'єктів промислового та цивільного призначення, основні вимоги до складу й змісту цих матеріалів. Додаткові вимоги щодо складу матеріалів ОВНС об'єктів зі специфічними умовами будівництва, а також при ліквідації наслідків аварій і катастроф, консервації й ліквідації підприємств, будинків і споруд визначаються в окремих відомчих нормативних документах.

ОВНС НСТХ відноситься до нормативних документів МНС України. Це є правомірним з тієї точки зору, що досвід роботи з надзвичайними ситуаціями найбільш багатий в цьому міністерстві. Відсутність ОВНС НСТХ на теперішній час пов'язана з тим, що достатньо складно охарактеризувати всі можливі сценарії розвитку НСТХ. Тому збір інформації щодо НСТХ у вигляді банків даних і їх детальний огляд багато в чому може сприяти створенню методології ОВНС НСТХ і розробки супутніх регуляторних документів з екологічної оцінки

надзвичайних ситуацій у сфері цивільного захисту.

Постановка завдання та його вирішення.

Метою роботи є обґрунтування і побудова логічного ланцюга подій, які характеризують життєвий цикл НСТХ на прикладі надзвичайних ситуацій, пов'язаних з вибухами боєприпасів.

Умовно життєвий цикл НСТХ можна розбити на чотири етапи:

етап № 1 – «Прогнозування або можливість виникнення НС»;

етап № 2 – «Виникнення, протікання і завершення НС»;

етап № 3 – «Ліквідація НС»;

етап № 4 – «Ліквідація наслідків НС».

Початок першого етапу пов'язаний з виникненням самого поняття НСТХ. Як правило, він виникає на стадії прогнозування або оцінки вірогідності виникнення НСТХ на потенційно небезпечних об'єктах. На прикладі НС, пов'язаних зі збереженням боєприпасів, етап № 1 може тривати багато років і при певних умовах наступні етапи не ініціюються.

Етап № 1 широко вивчається у військовій, соціальній практиці і практиці з забезпечення техногенно-екологічної безпеки. Запропоновано багато моделей різного класу і рівня для прогнозування вірогідності виникнення і наслідків НС [6].

Запропоновано підхід щодо моделей вирішення задач з прогнозування засобів ураження, які зберігаються на арсеналах і базах, шляхом розробки окремих математичних моделей прогнозування наслідків впливів вибухів на людей та об'єкти під час виникнення надзвичайних ситуацій техногенного характеру [7, 8]. Моделі дають можливість визначати математичне очікування втрат населення та руйнування об'єктів на території військового містечка, де зберігаються боєприпаси. Для кожного майданчика збираються вихідні дані: характеристика забудови, кількість людей. Пошкодження у осередку ураження характеризують наступними показниками: кількість будівель, які отримали ту чи іншу ступень пошкодження, об'єм можливих завалів, кількість постраждалих. На основі такого прогнозу на розрахунковій схемі визначаються зони повного, сильного, середнього та слабого руйнування та можливі втрати людей [6]. Ймовірність ураження людей в межах майданчика, що розглядається, запропоновано визначати при максимально і мінімально можливих значеннях вражаючого фактора для НС.

Якість прогнозних моделей зазвичай перевіряють на основі фактичних даних, отримання яких являє собою складне завдання. Для цієї мети можуть бути використані звітні матеріали з НСТХ, пов'язаних з вибухами боєприпасів.

В межах території України в останні роки відбулися чотири подібні НС. Особливості їх протікання відображені на сайті МНС України [9] і частково представлені в таблиці.

Аналіз звітних матеріалів, які описують виникнення, протікання і ліквідацію НСТХ, дає можливість побудувати часові ряди, за допомогою яких можна оцінити, наприклад, динаміку вибухів з моменту початку (t_0) етапу № 2. У разі НС в м. Лозова така динаміка найбільш вірогідно описується за допомогою статичної функції [10].

Таблиця - Стисла характеристика НСТХ, пов'язаних з вибухами боєприпасів

Масштаб НС	Місце НС	Рік	Дата	Кількість днів	Збитки, млн. грн	Зона ураження, км
Державний	м. Артемівськ Донецької обл. (2 тис. 200 тонн різного виду боєприпасів)	2003	11.10-13.10	3	40	10 - 40
	с. Новобогданівка Запорізької обл. (4,5 тис. умовних вагонів боєприпасів)	2004	07.05-10.07	66	2500	10 - 40
	м. Лозова Харківської обл., (6 тис. умовних вагонів боєприпасів)	2008	28.08-05.09	9	50	5
Місцевий	м. Артемівськ Донецької обл.	2003	14.10-30.10	17	—	—
	с. Цвітоха Хмельницької обл. (52,9 умовних вагонів боєприпасів)	2005	07.05-08.05	2	10	—

Тривалість другого етапу залежить від кількості боєприпасів, які знаходяться на збереженні, особливостей протікання НС, діяльності засобів МНС і може складати від декількох днів (с. Цвітоха) до 66 днів (с. Новобогданівка).

Як правило, при наступі часу (t_0) персонал, що обслуговує потенційно небезпечний об'єкт, починає приймати заходи з ліквідації НС, але реально за початок етапу № 3 треба прийняти час прибуття сил МНС та інших служб, що відбувається через деякий час Δt після t_0 .

При виникненні НСТХ у м. Лозова місцеві підрозділи МНС прибули на місце через 10 хвилин (рис. 1), але основні сили почали прибувати через 8-10 годин і їх максимальна кількість була відмічена через 15 годин після початку вибухів, в той же час на місці НСТХ була найбільша кількість техніки.

Через добу чисельність особового складу на місці НС зменшилася майже вдвічі і зберігалася протягом ще трьох діб. Потім кількість основних сил МНС разом з технікою поступово зменшувалась і через 12 діб підрозділи МНС відбули до

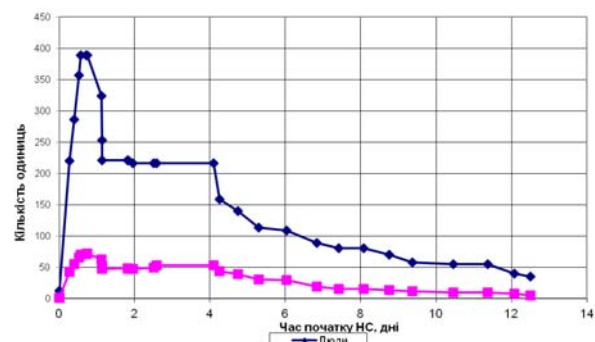


Рис. 1. Участь особового складу сил МНС і техніки в ліквідації НС в районі м. Лозова

місця постійної дислокації.

Маючи данні щодо кількості вибухів боєприпасів за добу можна спів ставити їх з даними щодо дії сил МНС у відносних одиницях. З рис. 2 видно, що найбільша кількість сил і техніки прибула в перший день виникнення надзвичайної ситуації, коли відбулася найбільша кількість вибухів як великої, так і малої потужності.

Поступове зменшення кількості основних сил МНС разом з технікою почалось після того, як кількість малих вибухів знизилась на порядок. Синхронно, з припиненням вибухів боєприпасів, завершилися основні дії сил МНС.

Таким чином, динаміку прибуття і вибуття сил МНС при ліквідації НС можна представити у вигляді часових рядів. Аналогічним чином описуються інші дії сил МНС і процеси в зоні

впливу НСТХ: встановлення і відміна зони відчуження або ураження, евакуацію і повернення населення, технічні і екологічні роботи та інші.

Значення цих рядів пов'язані між собою у часі і в поточний момент часу t формуються під впливом ряду факторів, які діють в минулі моменти часу. Величина Δt , яка характеризується запізненням впливу фактора на результат, називається в економетриці лагом, а часові ряди факторних змінних, здвигнутих на один або більше моменти – лаговими змінними [11].

Досить часто початок етапу № 3 і етапу № 4 співпадають у часі, але тривалість етапу № 4 майже не обмежена. Якщо техногенні і соціальні проблеми вирішуються в першу чергу, то рішення екологічних проблем, як правило, віддається на милість природі, яка десятиріччями лікує свої рани і намагається відновити функціональні якості екосистеми. Екосистема повертається в умови етапу № 1 і життєвий цикл НС замикається.

Екосистемі в районі м. Лозова певним чином «пощастило». Урядом України була прийнята Державна цільова екологічна програма ліквідації наслідків надзвичайної ситуації на території військової частини А0829 (м. Лозова Харківської області) на 2011-2013 роки (далі – Програма) [12].

Своєчасне та ефективне виконання Програми дасть змогу ліквідувати наслідки надзвичайної ситуації техногенного характеру і створити умови для запобігання можливому виникненню повторної НС, що забезпечить досягнення позитивних результатів екологічного, економічного та соціального характеру.

У сфері екології основними результатами виконання Програми будуть зменшення ризиків потенційної загрози від факторів вибуху у разі самоспрацювання хаотично розкиданих боєприпасів для навколишнього природного середовища та створення умов для екологічно безпечного використання земельних та інших ресурсів очищеної території та регіону в цілому.

До основних економічних результатів виконання Програми належать: зменшення

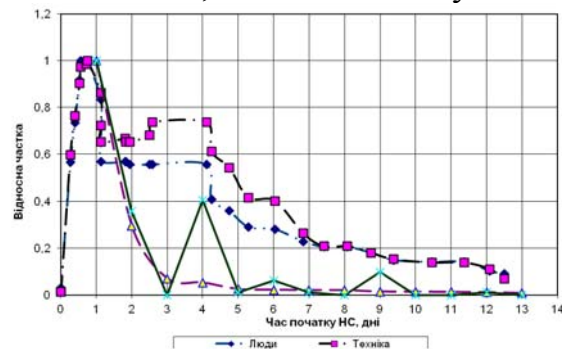


Рис. 2. Реакція сил МНС на динаміку вибухів боєприпасів в районі м. Лозова

обсягу економічних збитків, пов'язаних з ліквідацією повторних надзвичайних ситуацій, що спричинені вибухами боєприпасів; повернення забрудненої території військовій частині А0829 для створення розвинутої інфраструктури для м. Лозової; створення додаткових робочих місць.

У соціальній сфері основними результатами виконання Програми будуть: зниження соціальної напруги серед мешканців м. Лозової; створення більш безпечних умов праці та зменшення ризиків потенційної загрози від факторів вибуху у разі самоспрацювання хаотично розкиданих боєприпасів для персоналу, який забезпечує нормальне функціонування військовій частині А0829; мінімізація загрози виникнення нещасних випадків від несанкціонованого поводження з вибухонебезпечними предметами.

Вирішення вказаних завдань дійсно знизить рівень соціального напруження в районі м. Лозова. Але відсутність нормативного документу з ОВНС НСТХ не дає можливості в повній мірі оцінити впливи НС на клімат і мікроклімат, повітряне, геологічне і водне середовища, рослинний і тваринний світ, заповідні об'єкти, як це передбачено у ДБН А.2.2-1-2003 [5] і впливає з екосистемного підходу до оцінки стану території, яка піддалася техногенному впливу. Екологічна ситуація, ймовірно, буде змінюватися поступово, по мірі встановлення нових зв'язків між біотою і абіотою у новій екосистемі, оскільки стара екосистема зруйнована.

Таким чином в Україні існує регуляторне підґрунття, що на законодавчому рівні визначає необхідність застосування процедури екологічної оцінки надзвичайних ситуацій. Існуючі нормативно-правові акти встановлюють вимоги до аналізу та оцінки екологічних впливів надзвичайних ситуацій, але вони є різними за своєю відомчою приналежністю, видами, формами, ієрархією та призначенням, не забезпечуючи при цьому комплекс єдиних правових, методологічних, нормативно-технічних, соціально-економічних та інформаційних механізмів у цій сфері. Для повноцінного розвитку, систематизації і структуризації процедури оцінки екологічних впливів в разі надзвичайних ситуацій потрібен рамковий нормативно-правовий акт і логічним кроком започаткування цього процесу може бути оцінка сучасного стану розвитку методології ОВНС НСТХ на основі вивчення досвіду світової і національної практики.

Список літератури: 1. Про захист населення і територій від надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру [Текст] : закон України від 08.06.2000 р. № 1809–III // Відомості Верховної Ради України. – 2000. – № 40. – Ст. 337. 2. Положення про державну систему моніторингу довкілля [Електронний ресурс] : постанова Кабінету Міністрів України від 30.03.1998 р. № 391. – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/391-98-%D0%BF> 3. Про затвердження Національного плану дій з охорони навколишнього природного середовища на 2011-2015 роки [Електронний ресурс] : розпорядження Кабінету Міністрів України від 25.05.2011 р. № 577-р. – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/main/577-2011-%D1%80,nreg> 4. Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2020 року [Текст] : закон України від 21.12.2010 р. № 2818–VI // Відомості Верховної Ради України. – 2011. – № 26. – Ст. 218. 5. Относительно утверждения ГСН А.2.2-1-2003 «Состав и содержание материалов оценки воздействия на окружающую среду (ОВОС) при проектировании и строительстве предприятий, зданий и сооружений. Основные положения

проектирования [Текст] : приказ Госкома по строительству и архитектуре от 15.12.2003 г. № 214 // Информ. Бюл. Держбуду. – 2003. – № 12. – С. 17-25. **6.** Шульгин В. Н. Инженерная защита населения [Текст] : учебник / В. Н. Шульгин, А. И. Овсяник ; под общ. ред. Ю. Л. Воробьева. – М. : Институт риска и безопасности, 2006. – 650 с. **7.** Неклонський І. М. Використання окремих математичних моделей для оцінки обстановки при прогнозуванні наслідків вибуху боєприпасів на об'єктах зберігання [Текст] / І. М. Неклонський // Системи озброєння і військова техніка. – 2008. – № 3(15). – С. 61-62. **8.** Гузенко В. А. Особливості розробки окремих планів реагування на надзвичайні ситуації, які виникли внаслідок пожеж та вибухів боєприпасів, в сучасних умовах [Текст] / В. А. Гузенко, І. М. Неклонський // Проблеми надзвичайних ситуацій. – Х. : УЦЗУ, 2006. – Вип. № 6. – С. 46-52. **9.** Міністерство надзвичайних ситуацій України [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.mns.gov.ua/content/managament.html> **10.** Іванов Є. В. Деякі закономірності вибухів боєприпасів на 61-му арсеналі Південного ОКСВ у м. Лозова в серпні 2008 року [Текст] : / Є. В. Іванов, О. Є. Васюков // Проблеми надзвичайних ситуацій. – Харків: НУЦЗУ. – 2011. – Вип. 14. – С. 77-83. **11.** Домбровский В. В. Эконометрика [Текст] : учебник / В. В. Домбровский. – М. : Издательский дом «Новый учебник», 2004. – 342 с. **12.** Державна цільова екологічна програма ліквідації наслідків надзвичайної ситуації на території військової частини А0829 (м. Лозова Харківської області) на 2011-2013 роки [Електронний ресурс] : постанова Кабінету Міністрів України від 09.03.1998 р. № 391. – Режим доступу: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/237-2011-%D0%BF>

Поступила в редколлегию 15.06.2012

УДК 678.675:677.512

Н.Т. АРЛАМОВА, канд. техн. наук, доц., ДНУЖТ, Днепропетровск,
М.В. БУРМИСТР, докт. хим. наук, проф., УГХТУ, Днепропетровск,
Т.В. ХОХЛОВА, канд. хим. наук, проф., УГХТУ, Днепропетровск,
М.Л. СОРОКА, асп., ДНУЖТ, Днепропетровск

ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА ТЕРМОДЕСТРУКЦИИ ОТРАБОТАННОГО АРОМАТИЧЕСКОГО ПОЛИАМИДА

У статті розглядаються методики з визначення термостійкості полімерних матеріалів з метою оптимізації параметрів утилізації відпрацьованого полі-м-фенілентерафталаміду. За результатами термічного аналізу визначені механізм і кінетичні параметри процесу термічної деструкції ароматичного поліаміду з використанням методу Коатса-Редферна.

Ключові слова: полімери, ароматичні поліаміди, відходи, термічна деструкція, термостійкість, аналіз

В статье рассматриваются методики по определению термостойкости полимерных материалов с целью оптимизации параметров утилизации отработанного поли-м-фенилентерефталамида. На основании результатов термического анализа определены механизм и кинетические параметры процесса термической деструкции ароматического полиамида с использованием метода Коатса-Редферна.

Ключевые слова: полимеры, ароматические полиамиды, отходы, термическая деструкция, термостойкость, анализ

The methods for determining thermal resistance of polymer materials with for optimization parameters utilization the spent poly-m-fenylenthereftalamide are considered in article. Using the method Koats-Redfern are determination the mechanism and kinetic parameters of the process thermal destruction of aromatic polyamide.

Keywords: polymers, aromatic polyamides, waste, thermal destruction, thermal resistance, analysis

Введение

В последние годы рынок полимерных материалов достиг огромных масштабов. Остановимся на полиамидах (ПА). Удивительные свойства ПА быстро обеспечили им широкое применение. В настоящее время на рынке появляется более 100 новых модификаций в год. Весь же ассортимент ПА превышает 1000 наименований [1, с.6]. Одними из наиболее эксплуатируемых термопластичных конструкционных материалов являются ароматические полиамиды [2, с.3].

Но у полимеров, как собственно и других синтетических материалов, есть один существенный недостаток: они, выполнив свое функциональное предназначение, не разрушаются под влиянием природных факторов на протяжении десятка лет, а при сжигании выделяют ряд токсичных соединений, такие как оксиды углерода, хлороводород, цианистый водород и др. Токсичность

продуктов сжигания наиболее распространенных полимерных отходов [3, с. 106] представлена в таблице 1.

Таблица 1- Токсичность продуктов сжигания полимерных отходов

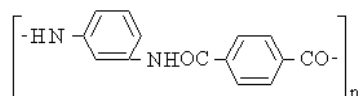
Полимерный материал	Токсичный продукт, балл				Суммарная токсичность, балл
	CO	CO ₂	HCl	HCN	
Полиамиды	17	1	-	931	949
Полистирол	19	2	-	-	21
Полиэтилен	21	1	-	-	22
Полиэтилентерефталат	24	2	-	-	26
Поливинилхлорид	12	1	343	-	356
Полиуретаны	14	1	-	273	287
Полиакрилонитрил	7	1	-	1201	1209

Цели и объекты исследования

Учитывая вышеизложенное, проблема поиска новых методов утилизации и переработки полимерных отходов носит острый и актуальный характер [4, с.147], а экологическая оценка подобных методов требует дополнительного изучения. В связи с чем, в данной работе всесторонне исследовались процессы термодеструкции отработанного конструкционного полимерного термопластичного материала поли-м-фенилентерефталамида.

Основной материал исследования

Поли-м-фенилентерефталамид – линейный гетероцепной полимер, содержащий в основной цепи макромолекулы амидную группу -HNCO-, соединенную с обеих сторон фенильными фрагментами, его получают эмульсионной поликонденсацией [5, с.18] дихлорангидрида терефталевой кислоты и м-фенилендиамин, взятых в эквимольных соотношениях



Переработка поли-м-фенилентерефталамида в изделия осуществляется методом компрессионного прессования [2, с.5]. Так как данное полимерное связующее не относится к плавким термопластам, таким как алифатические полиамиды, полиэтилен, полипропилен, полиэтилентерефталат и т.д., его нельзя подвергать вторичной переработки, что приводит к необходимости утилизировать отходы методом термического сжигания.

Наиболее часто поведение материалов при сжигании характеризуют термостойкостью, основным методом определения которой является совмещенный метод

дифференциально-термического (ДТА) и термогравиметрического (ТГА) анализов с использованием дериватографа Q-1500Д системы Ф.Паулик, Й.Паулик и Л.Эрдей фирмы МОМ (Венгрия). Испытания проводили в специальных керамических тиглях на воздухе в интервале температур 298 - 1273К. Скорость подъема температуры - 10 град/мин, в качестве эталонного вещества использовали Al₂O₃, навеска вещества - 200 мг. Чувствительность методов ТГА и ДТА составляла 1/5 и 1/3 соответственно.

Термическому анализу подвергали отработанные образцы поли-м-фенилентерефталамида. Результаты исследований представлены на рис. и в табл. 2. Зависимость «потеря массы – температура» для изучаемого материала представлена на рис. а, из которого видно, что контур кривой характерен для термостойких полиамидов.

На первом этапе, в температурном диапазоне 348-368К наблюдается постепенное уменьшение массы (2-4%), обусловленное потерей влаги.

Затем, вплоть до $T=613-623K$, масса остается практически неизменной; при этом наблюдается плавный ход кривой дифференциально-термического анализа (ДТА) без ярко выраженных изменений (рис. б). Интенсивная деструкция материала, сопровождающаяся значительной потерей массы, начинается после 643К; на кривой ДТА в этой области наблюдается экзотермический пик, относящийся к разложению полимерного связующего.

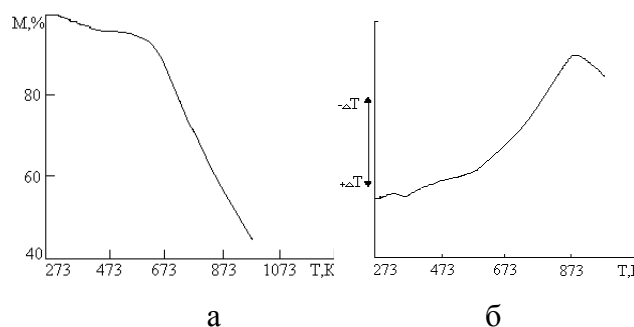


Рис. Термогравиметрическая (а) и дифференциально-термическая (б) кривые отработанных образцов поли-м-фенилентерефталамида

Таблица 2 -Термостойкость отработанных образцов поли-м-фенилентерефталамида

T_0	T_{10}	T_{20}	T_{30}	T_{50}
398	684	742	805	942

T_0 – температура начала потери массы, К (по Горовицу); T_{10} , T_{20} , T_{30} , T_{50} - температуры 10, 20, 30, 50% потери массы, К.

С целью выбора оптимальной кинетической модели для описания термической деструкции отработанных образцов по экспериментальным данным табл. 2 была рассмотрена возможность применения математических моделей различных гетерогенных процессов [6, с.241; 7, р.286]. В качестве критерия оценки химико-технологического процесса была выбрана степень превращения α , которая определяется по формуле:

$$\alpha = (G_0 - G) / (G_0 - G_1) \quad (1)$$

где G_0 , G , G_1 - начальная, в текущий момент времени и конечная масса образца.

Временную зависимость степени превращения можно выразить в форме дифференциального уравнения [6 с.227]:

$$d\alpha / d\tau = k f(\alpha) \quad (2)$$

где τ – время; k – константа скорости реакции; $f(\alpha)$ – алгебраическая функция, описывающая механизм процесса.

Зависимость k от температуры описывается общеизвестным уравнением Аррениуса:

$$k = Z e^{-E_{акт.}/RT} \quad (3)$$

где R - универсальная газовая постоянная, кДж/кг · К ; e - основание натурального логарифма; Z – предэкспоненциальный множитель; $E_{акт.}$ –энергия активации, кДж/моль.

С учетом зависимости (3) уравнение (2) представили в виде:

$$d\alpha/d\tau = Ze^{-E_{акт.}/RT} f(\alpha) \quad (4)$$

Математически, для кинетического анализа неизотермической кривой, полученной при линейном нагреве, существуют два метода: интегральный и дифференциальный. В данной работе применяли метод Коатса-Редферна [8 с.344] с использованием интегральных кинетических уравнений, который допускает рассмотрение неизотермической реакции в бесконечно малом интервале времени как изотермической. После интегрирования и логарифмирования зависимость (4) приобретает вид:

$$\lg \frac{k'(\alpha)}{T^2} = \lg \frac{ZR}{dT/d\tau \cdot E_{акт}} \left(1 - \frac{2RT}{E_{акт}}\right) - \left(\frac{E_{акт}}{2,3RT}\right) \quad (5)$$

$$\text{где } k'(\alpha) = \int_0^\alpha \frac{dE_{акт}}{df(\alpha)}; \quad k'(\alpha) = \frac{(1-\alpha)^{1-n} - 1}{n-1} \text{ при } n \neq 1; \quad k'(\alpha) = -\ln(1-\alpha) \text{ при } n=1 \quad (6)$$

Если предположить, что зависимость $[\lg k'(\alpha)] - [1/T]$ линейная [7, с.290], то в этом случае ее можно использовать для определения механизма гетерогенной реакции. Эта зависимость, рассчитанная непосредственно по экспериментальным величинам α и T будет линейной только для такой функции $k'(\alpha)$, которая соответствует наиболее вероятному процессу, контролирующему действительную скорость реакции [9 с.156].

Определение возможного механизма и расчет кинетических параметров процесса термодеструкции ароматического полиамида осуществляли с использованием интегральных кинетических уравнений различных механизмов гетерогенных процессов (таблица 3).

Таблица 3- Кинетические уравнения различных механизмов гетерогенных процессов [6, с.242]

Функция	Кинетическое уравнение	Процесс, лимитирующий скорость реакции	Математическая модель
N_1	$k\tau = \alpha$	Зародышеобразование по степенному закону $n=1$	(7)
N_2	$k\tau = 2\alpha^{1/2}$	---- " -----, $n=2$	(8)
R_2	$k\tau = 2[1 - (1-\alpha)^{1/2}]$	Реакция на границе раздела фаз: - цилиндрическая симметрия	(9)
R_3	$k\tau = 3[1 - (1-\alpha)^{1/3}]$	- сферическая симметрия	(10)
F_1	$k\tau = -\ln(1-\alpha)$	Случайное зародышеобразование, одно ядро на каждую частицу	(11)
A_2	$k\tau = 2[-\ln(1-\alpha)]^{1/2}$	Случайное зародышеобразование, уравнение Авраами-Ерофеева, $n=2$	(12)
A_3	$k\tau = 3[-\ln(1-\alpha)]$	---- " -----, $n=3$	(13)
A_4	$k\tau = 4[-\ln(1-\alpha)]^{1/4}$	----- " -----, $n=4$	(14)
D_1	$k\tau = 1/2 \alpha^2$	Одномерная диффузия	(15)
D_2	$k\tau = (1-\alpha)\ln(1-\alpha) + \alpha$	Двумерная диффузия, цилиндрическая симметрия	(16)
D_3	$k\tau = 3/2[1 - (1-\alpha^{1/3})]^2$	Трехмерная диффузия, сферическая симметрия	(17)
D_4	$k\tau = 3/2[(1-2/3\alpha) - (1-\alpha)^{2/3}]$	Двумерная диффузия, уравнение Гистлинга-Броунштейна	(18)

Критериями выбора математической модели являлись коэффициент корреляции прямой в координатах уравнения Аррениуса (r) и минимум функции (S):

$$S = f(\alpha(\tau), T(\tau), \Delta T(\tau), E_{\text{акт.}}, Z), \quad (19)$$

$$S = \sum_{i=1}^n \sqrt{\frac{(\alpha_{\text{э}} - \alpha_{\text{р}})^2}{n}} \quad (20)$$

где $\alpha_{\text{э}}, \alpha_{\text{р}}$ - экспериментальные и расчетные значения степени превращения; n - количество экспериментальных данных; T - температура; $E_{\text{акт.}}$ - энергия активации; Z - предэкспоненциальный множитель.

Результаты расчета выходных параметров термодеструкции поли-м-фенилентерефталамида: коэффициента корреляции, минимума функции, энергии активации, предэкспоненциального множителя, рассчитанные по программе [8, с.345], разработанной для IBM, приведены в табл. 4

Таблица 4- Расчетные кинетические параметры процесса термодеструкции отработанного поли-м-фенилентерефталамида

Математическая модель процесса	R	$S \cdot 10^{-2}$	$E_{\text{акт.}},$ кДж/моль	lg Z
(7)	0,990	4,02	30,88	-1,52
(8)	0,977	4,11	10,32	-2,53
(9)	0,993	1,24	39,98	-0,78
(10)	0,997	1,11	43,54	-0,49
(11)	0,997	1,73	51,50	0,15
(12)	0,989	3,04	20,63	-1,69
(13)	0,982	44,7	10,34	-2,23
(14)	0,962	50,7	5,19	-2,47
(15)	0,993	4,00	71,99	0,79
(16)	0,996	5,49	82,85	1,68
(17)	0,997	28,50	97,31	2,38
(18)	0,997	13,80	87,58	1,59

Термодеструкция полимеров, при которой весьма вероятна относительно высокая концентрация свободных радикалов, в большинстве случаев имеет

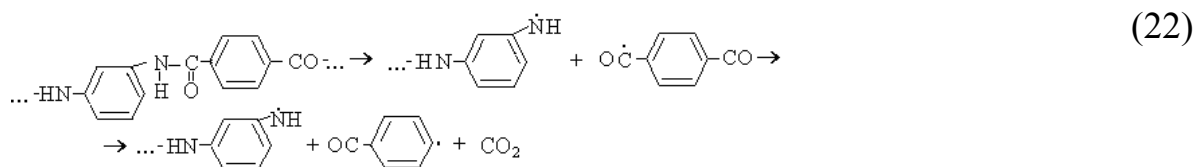
радикально-цепной механизм [10, с.125], состоящий из следующих стадий: I – иници-ирование; II – развитие цепи; III– передача цепи; IV– обрыв цепи.

Высокие значения коэффициента корреляции (табл.4) получены по кинетическим уравнениям (8)... (12), (16)... (18). Поэтому в качестве основного критерия выбора оптимальной математической модели процесса термодеструкции использовали минимальное значение S . Таким образом, исходя из данных табл. 4 установлено, что наилучшим образом процесс термодеструкции ароматического полиамида описывает уравнение реакции 1-го порядка (11), которое с учетом ΔT принимает вид:

$$Z \exp [E_{акт.}/(R(T \pm \Delta T))] \tau = - \ln (1-\alpha) \quad (21)$$

где $+\Delta T$ и $-\Delta T$ соответствуют отклонениям температуры при экзо- и эндотермических физико-химических превращениях в процессе термодеструкции материала. Аналогичным образом ΔT учитывалось в расчетах по всем представленным (7) - (18) уравнениям.

Как известно [11, с.64], при термической деструкции полимеров, содержащих в цепи ароматические ядра, основной является стадия инициирования цепи. Это подтвердилось и в результате расчета, так как кинетическое уравнение (11) описывает процесс случайного зародышеобразования: поли-м-фенилентерефталамид претерпевает мономолекулярные превращения, в результате которых из валентно-насыщенных молекул образуются радикалы, обладающие сравнительно малой реакционной способностью. Учитывая то, что при термолизе ароматических полиамидов в первую очередь расщеплению подвергаются наиболее слабые Ph-N и C-N связи, можно предположить, что математическая модель (11) описывает нижеприведенный гомолитический процесс с образованием свободных радикалов:



Адекватно отражает процесс и математическая модель (10), характеризующая химический процесс на границе раздела фаз. Очевидно, здесь происходит развитие цепи в результате гетерогенной реакции на границе полимер – газообразные продукты термолиза (CO_2 , CO , H_2O , HCN и др.). Кроме того, высокий коэффициент корреляции при минимальном значении S наблюдается и для случая двумерной диффузии (16) – частицы цилиндрической формы диффундируют к слою золы, накапливающейся по мере сгорания полиамида. Очевидно, это наиболее медленный процесс, так как он требует большой энергии активации (табл. 4).

Выводы

- показана эффективность применения математических моделей различных механизмов гетерогенных процессов для определения механизма и кинетических параметров термической деструкции полимерных отходов;
- рассмотренные в статье методики по определению термостойкости полимеров показали свою универсальность и экологическую целесообразность с

точки зрення оптимизации параметров утилизации отработанного полимерного материала поли-м-фенилентерефталамида .

Список литературы: 1. *Генис А.В., Усов В.В.* Состояние и перспективы развития мирового и российского рынка полиамидов//Пластические массы, №7, 2008, -с.4-10 2. *Арламова Н.Т.* Розробка та дослідження властивостей композитів на основі фенілону для вузлів тертя посівних машин / Авт. дисертації на здобуття наукового ступеня канд. техн. наук. - Дніпропетровськ: Вид-во УДХТУ, - 2001,16 с. 3. *Харченко Д.А. , Арламова Н.Т., Хохлова Т.В.* Переработка отходов полимеров// Матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції “Екологічний Інтелект” 28.04-29.04.2009р., -Дніпропетровськ: Вид-во ДНУЗТ. – 2009, с.106-107 4. *Арламова Н.Т., Розгон О.В.* Современные технологии переработки полимерных отходов ПЭТФ// Матеріали 6 Міжнарод. науково-техн. конф. «Проблеми екології та енергозбереження в суднобудуванні», 27-28 травня 2011р. –Миколаїв: НУК, 2011, с.147-150 5. *Соколов Л.Б., Герасимов В.Д., Савинов В.Д., Беляков В.К.* Термостойкие ароматические полиамиды. -М.: Химия, 1975. -256с. 6. *Шестак Я.* Теория термического анализа: Пер. с англ. - М.: Мир, 1987. -456с. 7. *Zuru A.A., Whitehead R., Criffiths D.L.* A new technique for determination of the possible reaction mechanism from non-isothermal thermogravimetric data // Thermochim. Acta, 164, 1990. -р.285-305. 8. *Баитанник П.И., Сытник С.В.* Кинетический анализ термогравиметрических данных термопластичных матриц на основе полиацеталей // Механика композитных материалов. №6, 1994 – с.843-847. 9. *Эмануэль Н.М., Кнорре Д.Г.* Курс химической кинетики. -М.: Высшая школа, 1969. -432с. 10. *Коршак В.В.* Химическое строение и температурные характеристики полимеров. -М.: Наука, 1970. -367с. 11. *Соколов Л.Б.* Термостойкие и высокопрочные полимерные материалы. -М.: Знание, 1984. -64с.

Поступила в редколлегию 15.06.2012

УДК 665.3

В.Л. ОСТРОУШКО, директор «Пологівський ОЕЗ», Пологи,
В.Ю. ПАПЧЕНКО, канд. техн. наук, УкрНДІОЖ НААН, Харків

ТЕХНОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ПРОЦЕСУ ЕКСТРАКЦІЇ РОСЛИННИХ ОЛІЙ

На основі літературних даних проаналізовано сучасний стан технології одержання рослинних олій з рослинної сировини. Розглянуто основні способи безперервної екстракції, їх переваги та недоліки. Звернено увагу на нові способи екстрагування.

На основе литературных данных проанализировано современное состояние технологии получения растительных масел из растительного сырья. Рассмотрены основные способы непрерывной экстракции, их преимущества и недостатки. Обращено внимание на новые способы экстракции.

Based on literature data the current state of technology for production of vegetable oils from plant material was analyzed. The main methods of continuous extraction, their advantages and disadvantages were considered. Attention is drawn to new ways of extraction.

Екстракційний спосіб виробництва рослинних олій є основним у олійножировій промисловості та його вдосконалення визначає ефективність роботи галузі. Отримання олій цим способом є найбільш економічним, оскільки він забезпечує максимальне знежирення олійної сировини, дозволяє одержувати високу якість олії і знежиреного залишку – шроту. Основна перевага екстракційного способу отримання рослинних олій в порівнянні з пресовим

полягає в значному збільшенні виходу олії особливо при переробці низькоолійного насіння (насіння сої та інших) [1]. Для знежирення більшості високоолійного насіння олію попередньо виділяють пресуванням, а потім направляють на подальше екстрагування.

Метою даної роботи є узагальнення даних науково-технічної та патентної літератури щодо екстракційного способу виробництва рослинних олій.

В промислових умовах рослинні олії витягують як методом настоювання, так і методом послідовного знежирення. Використання настоювання зумовлює застосування періодично діючої апаратури олієекстракційного виробництва. Що стосується методу послідовного знежирення, то його можна здійснювати як в апаратах періодичної дії (батареїні установки), так і у безперервно діючій апаратурі [1, 2].

У виробництві рослинних олій користуються трьома способами безперервної екстракції [1, 2]: - способом занурення матеріалу, який екстрагують, у протиточно рухомий розчинник; - способом багаторазового зрошення розчинником матеріалу, який переміщується за допомогою будь-якого конвеєра. При цьому найбільш знежирений матеріал зрошується чистим розчинником, а свіжий матеріал – найбільш концентрованою місцеллою; - змішаним способом, при якому свіжий матеріал, ретельно змочений концентрованою місцеллою (стадія замочування), остаточно знежирюється на конвеєрі екстрактора шляхом ступінчастої промивки (стадія зрошення) місцеллою і чистим розчинником.

До позитивних сторін екстракції способом занурення можна віднести: - широкі можливості використання для екстракції матеріалів різної структури (пелюстка, крупка) і вологості; - простота конструктивного оформлення екстракційних апаратів і малі площі, які вони займають; - високий коефіцієнт корисного використання геометричного об'єму (до 95,5 %) апарату, що запобігає можливості утворення в ньому вибухонебезпечних сумішей повітря і розчинника. Вважається, що екстрактори, які працюють за способом занурення, найбільш придатні для екстрагування низькоолійного насіння і форпресової макухи з олійністю від 8 % до 15 % [1, 2].

Екстракція олії способом зрошення в порівнянні зі способом занурення має такі переваги [1, 2]: - можливість одержання місцелл з підвищеними концентраціями, що дозволяє знизити співвідношення кількості розчинника і матеріалу, який екстрагують до 0,3:1; - отримання чистої місцелли за рахунок самофільтрації її крізь шар матеріалу, який екстрагують; - можливість екстрагування високоолійного матеріалу (насіння, відходів, макухи).

При змішаному способі екстракції, що представляє собою найбільш сучасну екстракційну систему, процес вилучення олії протікає в дві стадії. На першій стадії шляхом ретельного замочування і перемішування (стадія занурення) матеріалу, який екстрагують, в прямоточно рухомому розчиннику прискорюється перехід в місцеллу олії, що виділяється на зовнішніх і внутрішніх поверхнях часток, які екстрагують. На другій стадії остаточне знежирення відбувається при ступінчастій промивці (стадія зрошення) олійного матеріалу місцеллою і чистим розчинником в умовах примусового відсмоктування проміжних місцелл або в умовах їх самовільного стікання [1, 2].

Комбінування двох способів екстракції в одній екстракційній установці дозволяє використовувати перевагу обох, виключаючи основні недоліки, притаманні як способу занурення, так і способу зрошення. Для апаратів, що працюють за змішаним способом, характерні: малі габарити екстрактора; малі кількості розчинника, який циркулює в системі; незначні кількості матеріалу, який екстрагують, в апараті; високі концентрації міцелл при їх високій чистоті, що пов'язано з використанням явища самофільтрації [1, 2].

Вище розглянуто основні способи екстракції стосовно існуючої промислової апаратури і вуглеводневих розчинників (бензин, гексан, гептан і ін.) [1 – 10]. Останнім часом часто в промислових умовах, частково в камеральних і заводських проводяться роботи з екстракції рослинних олій етиловим спиртом [3, 11, 12], ізопропіловим спиртом, ацетоном [3, 13], зрідженими газами [3, 14 – 16]. Проводяться дослідження по екстракції жиру з рослинної сировини також імпульсним методом та із застосуванням ультразвуку [3], мікрохвильовою екстракцією [17, 18]. Також при виробництві олій для харчової та фармацевтичної промисловості використовують надкритичну флюїдну екстракцію [19 – 23].

Отже накопичена наукова база знань дозволить вивести на новий рівень розробку економічно прийнятної технології екстракції рослинних олій, актуальної для України.

Список літератури: 1. Гавриленко И.В. Маслоэкстракционное производство / И.В. Гавриленко. – М.: Пищепромиздат, 1960. – 247 с. 2. Руководство по технологии получения и переработки растительных масел и жиров / [под ред. А.Г. Сергеева]. – Л.: НПО Масложирпром, 1974. – Т.І. – 592 с. 3. Белобородов В.В. Основные процессы производства растительных масел / В.В. Белобородов. – М.: Пищевая промышленность, 1966. – 479 с. 4. [Pagliero C. Separation of sunflower oil from hexane by use of composite polymeric membranes](#) / C. Pagliero, N.A. Ochoa, P. Martino, J. Marchese // JAOCs. – 2011. – 88, № 11. – С. 1813 – 1819. 5. Пат. 2166533 Российская Федерация, МПК C11B1/10. Способ экстракции растительных масел и устройство для его осуществления / Иванова Э.И., Лисицын А.Н., Марков В.Н.; заявитель и патентообладатель Иванова Э.И., Лисицын А.Н., Марков В.Н. – № 99114067/13; заявл. 23.06.1999; опубл. 10.05.2001. 6. Пат. 2117693 Российская Федерация, МПК C 11 B 1/10. Способ экстракции масла из маслосодержащего сырья / Бабушкин А.Ф.; Черкасов В.Н.; Крючков В.Е.; Мажаяев Б.М.; Мхитарьянц Л.А.; Мосян А.К.; Корнена Е.П.; Швеи Т.В.; заявитель и патентообладатель ОАО “Миллеровский маслоэкстракционный завод”. – № 97116280/13; заявл. 25.09.1997; опубл. 20.08.1998. 7. Пат. 2027746 Российская Федерация, МПК C11B1/10. Способ переработки маслянистого материала / Деревенко В.В., Краснобородько В.И.; заявитель и патентообладатель Краснодарский политехнический институт. – № 4881497/13; заявл. 11.11.1990; опубл. 27.01.1995. 8. Пат. 2021336 Российская Федерация, МПК C11B9/02, B01D11/02. Способ экстракции растительного сырья и установка для его осуществления / Квасенков О.И., Касьянов Г.И.; заявитель и патентообладатель Квасенков О.И., Касьянов Г.И. – № 5017829/13; заявл. 20.12.1991; опубл. 15.10.1994. 9. [Baümler E.R. Solvent extraction: kinetic study of major and minor compounds](#) / E.R. Baümler, G.H. Crapiste, A.A. Carelli // JAOCs. – 2010. – 87, № 12. – С. 1489 – 1495. 10. Пат. 78455 Україна, МПК B01D 11/02, A61K 36/00, A61K 133/00. Спосіб екстрагування біологічно-активних речовин у системі "тверде тіло - рідина" / Долінський А.А., Грабов Л.М., Мерцій В.І., Васильєв Д.С.; заявник Інститут технічної теплофізики національної академії наук України – № 200511922; заявл. 12.12.2005; опубл. 15.03.2007, бюл. № 3. 11. Пат. 2149892 Российская Федерация, МПК C11B1/10, A23L1/30. Способ получения растительного масла / Кислухина О.В., Тырсин Ю.А., Мигачева О.В.; заявитель и патентообладатель Московский государственный университет пищевых производств. – № 99103749/13; заявл. 25.02.1999;

опубл. 27.05.2000. **12. Пат.** 2194070 Российская Федерация, МПК С 11 В 1/10. Способ получения кедрового масла / Хантургаев Г.А., Хантургаев А.Г., Ширеторова В.Г., Дорохов И.Н.; заявитель и патентообладатель Восточно-Сибирский государственный технологический университет. – № 2000117428/13; заявл. 30.06.2000; опубл. 10.12.2002. **13. Kuk M.S.** Cottonseed extraction with mixtures of acetone and hexane / M.S. Kuk, [R. Tetlow](#), [M.K. Dowd](#) // JAOCS. – 2005. – 88, № 8. – С. 609 – 612. **14. Пат.** 2055864 Российская Федерация, МПК С11В1/10, С11В9/02, А23Л1/221. Способ экстракции растительного сырья / Квасенков О.И.; заявитель и патентообладатель Всероссийский научно-исследовательский институт консервной и овощесушильной промышленности. – № 94010514/13; заявл. 29.03.1994; опубл. 10.03.1996. **15. Пат.** 2039586 Российская Федерация, МПК В01Д11/02, А61К35/78. Способ экстракции растительного сырья сжиженными газами / Кошелев Ю.А., Агеев К.А., Миренков В.А.; заявитель и патентообладатель АОЗТ “Алтайвитамины”. – № 93032033/14; заявл. 07.07.1993; опубл. 20.07.1995. **16. Пат.** 2062295 Российская Федерация, МПК С11В1/10. Способ экстракции жиров и масел из натуральных веществ / Хайдлас Ю., Кулли Я., Фольббрехт Х.Р.; заявитель и патентообладатель СКВ Тростберг АГ. – № 93056645/13; заявл. 07.10.1993; опубл. 20.06.1996. **17. Пат.** 2060262 Российская Федерация, МПК С11В9/02, С11В1/10. Способ микроволновой экстракции растительного сырья / Квасенков О.И., Ломачинский В.А.; заявитель и патентообладатель Всероссийский научно-исследовательский институт консервной и овощесушильной промышленности. – № 94021000/13; заявл. 24.05.1994; опубл. 20.05.1996. **18. Пат.** 18460 Україна, МПК В01Д 11/00. Спосіб екстрагування з твердого тіла / Бурдо О.Г., Ряшко Г.М.; замовник и патентоутримувач Одеська національна академія харчових технологій – № 200604521; заявл. 25.04.2006; опубл. 15.11.2006, бюл. № 11. **19. Sami G.Ö.** [Response surface analysis and modeling of flaxseed oil yield in supercritical carbon dioxide](#) / G.Ö Sami // JAOCS. – 2009. – 86, № 11. – С. 1129 – 1135. **20. Пат.** 2135551 Российская Федерация, МПК С11В1/10. Способ экстракции растительного сырья / Кошевой Е.П., Морозова С.С., Бутто С.В., Таран А.И.; заявитель и патентообладатель Кубанский государственный технологический университет – № 98106901/13; заявл. 07.04.1998; опубл. 27.08.1999. **21. Mariod A.A.** Supercritical carbon dioxide extraction of sorghum bug (*Agonoscelis pubescens*) oil using response surface methodology / [A.A. Mariod](#), [S.I. Abdelwahab](#), [M.A. Gedi](#), [Z. Solati](#) // JAOCS. – 2011. – 88, № 8. – С. 849 – 853. **22. Ixtaina V.Y.** Supercritical Carbon Dioxide Extraction and Characterization of Argentinean Chia Seed Oil / [V.Y. Ixtaina](#), [F. Mattea](#), [D.A. Cardarelli](#), [M.A. Mattea](#), [S.M. Nolasco](#), [M.C. Tomás](#) // JAOCS. – 2011. – 88, № 2. – С. 289 – 298. **23. Mariod A.A.** Comparison of supercritical fluid and hexane extraction methods in extracting kenaf (*hibiscus cannabinus*) seed oil lipids / [A.A. Mariod](#), [B. Matthäus](#), [M. Ismail](#) // JAOCS. – 2011. – 88, № 7. – С. 931 – 935.

Надійшла до редколегії 01.06.2012

УДК 665.3.577

АБДУЛКАРИМ АДХАМ С., асп., НТУ ХПИ», Харьков,
С.Н. МОЛЬЧЕНКО, преп.-стажер, НТУ «ХПИ», Харьков,
Ф. Ф. ГЛАДКИЙ, докт. техн. наук, проф., НТУ «ХПИ», Харьков

СИНТЕЗ СИММЕТРИЧНЫХ МОНОАЦИЛГЛИЦЕРИНОВ

У статті описується спосіб отримання симетричних моноацилгліцеринів шляхом гідролізу соняшникової олії з використанням в якості каталізатора ферментних препаратів специфічної дії. Показано, що при використанні панкреатичної ліпази синтезуються симетричні і несиметричні моноацилгліцерини.

В статье описывается способ получения симметричных моноацилглицеринов путем гидролиза подсолнечного масла с использованием в качестве катализатора ферментных препаратов

специфического действия. Показано, что при использовании панкреатической липазы синтезируются симметричные и несимметричные моноацилглицерины.

The paper describes a method for obtaining symmetrical monoacylglycerins by hydrolysis of sunflower oil-finite, using as a catalyst enzyme preparations specific action of. It is shown that the use of pancreatic lipase is synthesized symmetrical and non-symmetrical monoacylglycerins.

Постановка проблемы. Симметричные моноацилглицерины ненасыщенных жирных кислот могут быть использованы для синтеза симметричных ди- и триацилглицеринов, составляющих основу кондитерских жиров специального назначения. Использование в качестве специальных кондитерских жиров частично гидрогенизированных масел (например, подсолнечного, рапсового, соевого и др.), не позволяет получить кондитерские изделия высокого качества, к тому же в таких жирах содержится значительное количество трансизомеров ненасыщенных жирных кислот, которые, по мнению некоторых специалистов, могут содержаться в пищевых продуктах в ограниченном количестве. Разработка методов синтеза и технологии продуктов с использованием ферментных препаратов в масложировой промышленности Украины является перспективной и актуальной задачей.

Анализ исследований и публикаций. Ранее [1] была показана возможность определения строения ацилглицеридов с помощью липазы поджелудочной железы (панкреатической липазы), которая специфически расщепляет молекулу триацилглицеринов, действуя на первичные сложноэфирные связи в 1,3-положениях. Было доказано, что первым продуктом липолиза являются 1,2-диацилглицерины, которые затем гидролизуются до 2-моноацилглицеринов.

Ферменты (энзимы) – органические катализаторы белковой природы, которые обеспечивают последовательность и взаимосвязь многих сложных биохимических превращений в клетках растений, животных и микроорганизмов. Одним из уникальных свойств ферментов является их высокая специфичность. Реакция проходит исключительно тогда, когда необходимый фермент вступает в контакт с необходимым субстратом при указанных pH и температуре. Долгое время в технологии жиров биологические катализаторы не использовались. Ситуация изменилась в 80-е годы прошлого столетия, когда были предложены относительно дешевые ферментные препараты микробного происхождения иммобилизованные на носителе.

Применение ферментных препаратов уменьшает отрицательное воздействие производства на окружающую среду благодаря снижению объемов использования электрической энергии и химических реагентов, способствует значительному уменьшению количества отходов и улучшает показатели экологической безопасности производства. Использование ферментов в масложировой отрасли позволит создать рациональные технологии модифицирования жиров, в том числе функциональных продуктов питания.

Применение биокатализаторов обеспечивает проведение направленного модифицирования жиров, получение продуктов с желаемыми физико-химическими, структурно-механическими свойствами, улучшенными вкусовыми качествами, без трансизомеризации, с сохранением во втором положении триацилглицеринов природной жирной кислоты[2,3].

Цель исследования. Получение симметричных моноацилглицеринов путем гидролиза подсолнечного масла с использованием в качестве катализатора ферментных препаратов специфического действия, т.е. препаратов, обеспечивающих гидролиз сложноэфирных связей в положении 1 и 3 ацилглицеринов.

Изложение основного материала исследования. Для исследований использовалось рафинированное дезодорированное подсолнечное масло отечественного производства, лекарственные препараты, содержащие панкреатическую липазу: «Солизим» (активность липазы 3000 Ф. И. Р. ЕД), «Панкреатин» (8000 липолитических ЕД Ph. Eur), «Креон» (активность липазы 40000 ед. ЕФ).

Условия гидролиза: $t = 35 - 40\text{ }^{\circ}\text{C}$; соотношение масло: вода 1: 5; $\text{pH} = 8 - 8,5$; количество ферментного препарата вводилось в зависимости от активности липазы и желаемой степени гидролиза. За ходом реакции следили по изменению кислотного числа реакционной массы. Процесс останавливали, когда степень гидролиза достигала 70%, что обуславливало накоплению в реакционной смеси в основном симметричных ацилглицеринов.

Кинетика процесса гидролиза с помощью препаратов «Солизим», «Панкреатин», «Креон» представлена на рис. 1.

Как видно из рис.1 при применении препаратов, в состав которых входит панкреатическая липаза, через 6 ч реакции кислотное число достигает значения до 155 мг КОН / г.

После достижения необходимого кислотного числа целевой продукт отделяли от фермента фильтрацией, удаляли воду и глицерин. Продукт промывали, высушивали до постоянной массы.

Продукты реакции идентифицировали с использованием тонкослойной хроматографии. Тонкослойная хроматограмма продуктов гидролиза представлена на рис. 2.

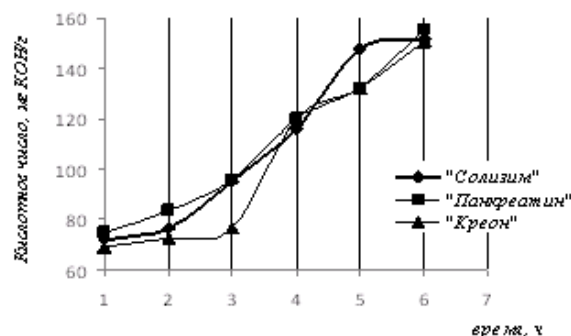


Рис. 1. Изменение кислотного числа подсолнечного масла в зависимости от времени гидролиза

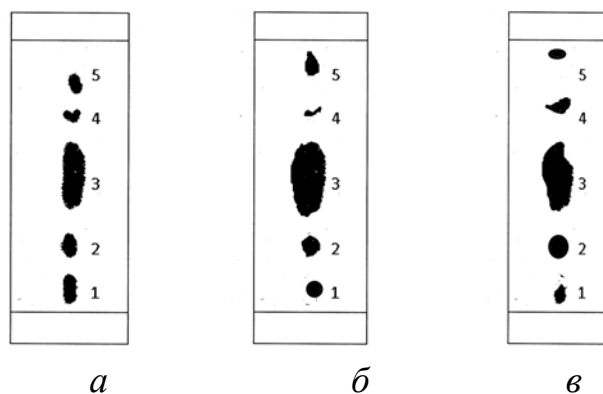


Рис. 2. Тонкослойная хроматограмма продуктов гидролиза: а, б, в – продукт гидролиза с использованием препарата «Солизим», «Панкреатин», «Креон» соответственно. 1 – 1-моноацилглицерины; 2 – 2-моноацилглицерины; 3 – жирные кислоты; 4 – диацилглицерины; 5 – триацилглицерины

Качественный хроматографический анализ выявил кроме симметричных моноацилглицеринов наличие несимметричных моноацилглицеринов. Тонкослойная хроматография показала качественный состав продукта гидролиза.

Для количественного определения составляющих проведено разделение их на сорбентах по методике ВНИИЖ [1].

Для разделения ацилглицеринов использовали колонку с кремневой кислотой. Жирные кислоты вместе с три- и диацилглицеринами элюировали смесью (90:10:1) бензола, диэтилового эфира и уксусной кислоты, а моноацилглицерины – диэтиловым эфиром. Растворители отгонялись, ацилглицерины высушивали до постоянной массы.

В выделенных таким образом моноацилглицеринах определяли количество несимметричных моноацилглицеринов методом перйодатного окисления. Результаты приведены в таблице.

Таблица- Содержание моноацилглицеринов

Ферментный препарат	1-моноацилглицерины, %	2-моноацилглицерины, %
«Солизим»	41,20	58,80
«Панкреатин»	52,47	47,53

При гидролизе подсолнечного масла с помощью ферментных препаратов, содержащих панкреатическую липазу, получено смесь симметричных и несимметричных моноацилглицеринов, а не только симметричных.

Появление в смеси несимметричных моноацилглицеринов, по-видимому, можно объяснить миграцией ацилов из положения 2 в положение 1 или 3. Поэтому дальнейшие исследования должны быть направлены на выяснение условий реакций, при которых миграция ацилов будет существенно затруднена.

Выводы:

В результате проведенной работы:

- 1) синтезированы симметричные моноацилглицеринов путем гидролиза подсолнечного масла с использованием в качестве катализатора ферментных препаратов специфического действия;
- 2) показано, что при использовании ферментных препаратов, содержащих панкреатическую липазу, получаем смесь симметричных и несимметричных моноацилглицеринов в конечном продукте.

Список литературы: 1. Руководство по методам исследования, технического контролю и учету производства в масложировой промышленности: в 6 т. / [под. ред. В.П. Ржевщина и А. Г. Сергеева]. – Л.: ВНИИЖ. – Т. Г, кн.2. – 1967. – 1054 с. 2. Звіт про науково-дослідну роботу "Дослідження перетворення речовин, супутніх жирам, за допомогою ензимів", № держреєстрації 1100у000982, НТУ "ХПІ". – 2004. – 92с. 3. Звіт про науково-дослідну роботу "Перетворення ацилглицеринів за допомогою ферментів", № держреєстрації 0105у000582, НТУ "ХПІ". – 2007. – 96с.

Поступила в редколлегию 09.06.2012

Л.Г. ФІЛАТОВ, докт.техн. наук, проф., Сумський державний університет,
С.В. СИДОРЕНКО, канд..техн.наук, ст..викл., Сумський державний
університет,
О.С. КОНОНЕНКО, студ, Сумський державний університет,

ПОВОДЖЕННЯ З ЕЛЕКТРОННИМИ ВІДХОДАМИ В УКРАЇНІ. АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ ТА ШЛЯХИ ВИРІШЕННЯ

В статті розглядається проблема поводження відходами електронних та електричних пристроїв. Розглядається існуючий стан на Україні, закордонний досвід в цьому питанні. Виділені основні проблеми та шляхи їх вирішення.

Ключові слова: електронні відходи, утилізація відходів, управління відходами, проблеми

В статье рассматривается проблема обращения отходами электронных и электрических устройств. Рассматривается текущее состояние на Украине, зарубежный опыт в этом вопросе. Выделены основные проблемы и пути их решения.

Ключевые слова: электронные отходы, утилизация отходов, управление отходами, проблемы

The paper considers the problem of handling waste electrical and electronic equipment. We consider the current state of Ukraine, foreign experience in this matter. The basic problems and solutions are dedicated.

Keywords: e-waste (weee), waste recovery, waste manangement, challenges

В сучасному світі розвиток та функціонування будь-якої держави неможливий без застосування передових інформаційних технологій (ІТ) та засобів зв'язку. Апаратним забезпеченням цих технологій є різні типи та класи електронних пристроїв. В останні роки в Україні спостерігається стрімкий розвиток ІТ-інфраструктури як в секторі державного управління, так і в приватних компаніях та особистому житті людей.

Сучасні ІТ-технології характеризується активним зростанням та розвитком. Неодмінним атрибутом такого розвитку є вимоги до оновлення та модернізації апаратної складової для підтримання необхідного рівня та можливостей інформаційних та телекомунікаційних систем. Постійно з'являються на ринку нові зразки обладнання, зростають можливості та напрямки використання електронних засобів в різних сферах життя.

Таке зростання викликає швидке моральне застаріння обчислювальної та побутової техніки, що сприяє утворенню великої кількості специфічних відходів. Ці відходи в закордонній нормативній та науковій літературі прийнято називати відходи електричного та електронного обладнання (waste electrical and electronic equipment (WEEE)), або скорочено «e-waste». В роботах українських авторів, наприклад [1, 2] для такого типу відходів прийнята назва електронних відходів.

Згідно з Директивою ЄС 2002/96/ЕС від 27.01.2003 «Відходи електричного та електронного обладнання» [3] до електронних відходів відносять електричне або електронне обладнання, яке являє собою відходи, включаючи всі його

комплектуючі, підсистеми та механізми, які є його складовими. До таких відходів відносять:

1. Великі побутові прилади.
2. Дрібна побутова техніка.
3. IT і телекомунікаційне устаткування.
4. Електроспоживаюче обладнання.
5. Освітлювальне обладнання.
6. Електричні та електронні інструменти (за винятком великих стаціонарних промислових інструментів).
7. Іграшки, обладнання для відпочинку та спортивне обладнання, що містить електронні компоненти та складові.
8. Медичне обладнання (за винятком всіх імплантованих та інфікованих продуктів).
9. Інструменти автоматизації, моніторингу та контролю.
10. Автомати торговельні та роздаткові.

В роботі [4] приведений аналіз поняття «електронні відходи» з закордонної літератури та в результаті приведене власне визначення, сформульоване автором. Автор пропонує під електронними відходами розуміти будь електричне або електронне обладнання, що приводиться в дію за допомогою електроенергії, кінцевий користувач якого передбачає його позбутися і зобов'язаний це зробити відповідно до вимог чинного законодавства з метою його обов'язкової утилізації.

З кожним роком проблема накопичення, знешкодження та утилізації непотрібної обчислювальної техніки стає все більш актуальною, в тому числі і для України.

В роботах дослідників Університету штату Аризона (Arizona State University) наданий довгостроковий прогноз утворення непридатних та відпрацьованих комп'ютерів для різних країн. Їх дані (рис.1) свідчать, що на сьогоднішній день кількість застарілих комп'ютерів в розвинутих країнах більша, ніж в країнах, що розвиваються. Але приблизно з 2016-2017 років очікується різке зростання кількості відпрацьованої обчислювальної техніки в країнах, що розвиваються. Починаючи з цього моменту такі країни будуть утворювати в 2,5 рази більше відходів електронної техніки, ніж розвинуті країни. На 2030 рік в розвинутих країнах прогнозується утворення приблизно 200 млн. старих комп'ютерів, в той час в країнах, що розвиваються, ця кількість становитиме майже 700 млн. шт.

На Україні на сьогоднішній день окремі статистичні дані щодо обсягів утворення, знешкодження та утилізації електронних відходів відсутні. Згідно з даними Держкомстату України за 2011 рік [5] утворено 26,6 тис. т відходів непридатного обладнання, але ця цифра містить все відпрацьоване обладнання, включаючи і електронне. Виділення електронних відходів в окрему категорію не проводиться і відповідні дані не визначаються.

Електронні відходи є достатньо небезпечними для навколишнього середовища та здоров'я людини. За оцінками організації Electronics TakeBack Coalition (<http://www.electronicstakeback.com>) до складу електронної продукції входить близько 1000 різних хімічних речовин та з'єднань в тому числі

хлорвмісні розчинники, бромовані антипірени, полівінілхлорид, важкі метали, пластмаси і газу. Наприклад монітори та телевізори з електронно-променевими трубками (ЕПТ) містять від 1 до 3 кілограмів вільного свинцю на кожен. Побудовані на базі рідкокристалевих та плазмових панелей телевізори і монітори вільні від свинцю, але містять з'єднання ртуті в складі ламп підсвічування матриць. Наприклад, близько 40% важких металів (свинець, ртуть, кадмій та інші) на полігонах відходів в США надходять з електронних відходів [6]

Існуюча система поводження з відходами на Україні передбачає звітність об'єкта, який утворює відходи, за затвердженою формою. Такою формою є «Реєстрова карта об'єкта утворення відходів», затверджена Наказом Мінприроди від 17.08.1999 №41 [7]. Ця карта заповнюється об'єктом самостійно для кожного виду відходу, вказується кількість утвореного відходу, клас його небезпеки та напрямок використання, видалення або передачі відходу. Реєстрові карти відходів передається до місцевих органів Міністерства екології та природних ресурсів. Дані реєстрових карт від суб'єктів господарювання заносяться до обласного реєстру відходів, який передається до всеукраїнського реєстру.

Реєстрова карта заповнюється для кожного коду відходу окремо. Код відходу визначається згідно Державного класифікатора відходів України ДК-005-96. Для електронних відходів цей Державний класифікатор передбачає класифікаційне угруповання 774 «Відходи експлуатації, технічного обслуговування, ремонту та відновлення устаткування, обладнання» до складу якого входить відхід з кодом 7740.3.1.03 – обладнання електронне загального призначення зіпсоване, відпрацьоване чи неремонтпридатне. Відходи, віднесені до даного коду, мають багатокомпонентний склад, який сильно відрізняється в різних зразках відпрацьованого обладнання. Це викликає об'єктивні складнощі для правильного визначення класу небезпеки таких відходів. Тому в практичній діяльності обласних органів Міністерства екології та природних ресурсів можна зустріти приклади складання реєстрових карт на такі відходи, в яких визначений будь-який клас небезпеки електронних відходів, від першого до четвертого.

Відходи 4 класу небезпеки можуть бути видалені на полігони твердих побутових відходів (ТПВ), що і відбувається в ряді випадків з електронними відходами. Якщо електронні відходи класифіковані за 1-3 класом небезпеки, то мають передаватися для знешкодження або утилізації спеціалізованим підприємствам, які мають відповідну ліцензію на таку діяльність.

При цьому серед юридичних осіб, які мають списати певну техніку, розповсюджена практика безоплатної передачі (або за символічну плату)



Рис.1. Прогноз утворення застарілих комп'ютерів в розвинутих країнах, та країнах, що розвиваються

морально застарілого електронного обладнання іншим фізичним або більш дрібним юридичним особам. Таким чином вони уникають зобов'язань по утилізації електронних відходів. А вторинні користувачі (юридичні особи) частіше за все не підпадають під обов'язкову звітність про рух відходів і в результаті відпрацьована техніка видаляється на полігони ТПВ.

Але описаний механізм звітності та відповідальності за передачу електронних відходів вимагається лише від юридичних осіб певних категорій, які мають на офіційному балансі відповідну техніку та обладнання. Будь яке законодавче регулювання утворення та руху таких відходів у фізичних осіб в Україні відсутнє. Фактично застарілі або неробочі електричні та електронні прилади населення викидає в контейнери для побутового сміття і потім вони потрапляють на полігони ТПВ.

В нашій державі працює дуже мало спеціалізованих організацій, які займаються прийманням та переробкою електронних відходів. Наприклад в м. Києві всього 1 організація має відповідну ліцензію, в інших регіонах їх кількість також складає 1-2 таких фірми. Ця ситуація є наслідком низького попиту на подібні послуги та невисокою рентабельністю подібної діяльності.

Будь яка система приймання електронних відходів від населення взагалі відсутня, проводяться лише окремі акції громадськими організаціями та волонтерами. Але в цьому напрямку можна відмітити позитивну роботу окремих виробників електронного обладнання. Наприклад, компанія Nokia приймає безкоштовно від населення відпрацьовані та непотрібні мобільні телефони Nokia в будь якому фірмовому центрі обслуговування, які потім направляються на утилізацію. Але такі приклади на сьогодні є скоріш виключенням з загальної ситуації.

Проведений в [8] аналіз цін на послуги з утилізації електронної техніки декількох спеціалізованих фірм України показує значну розбіжність вартості послуг між різними організаціями. Це пов'язано з технологією переробки таких відходів. За проведенням нами аналізом існуючої ситуації з технічної точки зору працюючі на сьогодні технології утилізації електронних відходів в Україні достатньо прості (навіть в деяких випадках примітивні) і являють собою декілька варіантів (або їх поєднання):

- виплавку дорогоцінних металів з окремих комплектуючих, де ця операція де достатньо простою та рентабельною;
- відділення металевих частин (корпусів, радіаторів, кабелю, обмоток трансформаторів і т.д.) і їх продаж як металобрухту;
- в окремих випадках піроліз або спалювання горючої частини.

При цьому залишається значна частка неутилізованого залишку, який, скоріш за все, подрібнюється без будь якого сортування і відправляється на полігон твердих побутових відходів. Таким чином є ризик того, що технології переробки, які використовуються на сьогодні в Україні залишаються екологічно небезпечними.

Існуюча ситуація є наслідком відсутності або недосконалості законодавства в цьому питанні, відсутності державних програм та механізмів для регулювання та стимулювання поводження з такими відходами.

При цьому закордонний досвід свідчить, що утилізація електронних відходів при правильному підході та підтримці з боку держави є прибутковою діяльністю, яка одночасно сприяє збереженню якості навколишнього середовища та економії споживання ресурсів.

За даними американської агенції з захисту навколишнього середовища (US Environment Protection Agency, EPA) утилізація 1 млн. мобільних телефонів може дати приблизно 24 кг золота, 250 кг срібла, 9 кг палладію, та більше 9000 кг міді. В перерахунку на 1 тону відпрацьованих мобільних телефонів (приблизно 6 тис. апаратів) можна отримати прибуток від продажу дорогоцінних та кольорових металів на рівні 15 тис. долл. США.

Одна тонна електронного брухту з персональних комп'ютерів містить більше золота, ніж 17 тонн золотоносної породи [9]

В той же час для виробництва одного персонального комп'ютера необхідно 240 кг викопного палива, 48 кг різних хімічних речовин та 1,5 тонни води [10].

80 відсотків енергії, що потребують комп'ютери, витрачається при їх виробництві, і тільки 20% - при використанні

На отримання алюмінію шляхом переробки електронних відходів витрачається лише 10% енергії по відношенню до його первинного добування, одночасно з цим зменшується забруднення навколишнього середовища. Видобуток з природних ресурсів 1 т алюмінію супроводжується утворенням 1,3 т відходів бокситів, викидів 2 т CO₂, 11 кг діоксиду сірки та інших забруднюючих речовин [11].

США є одним з передових лідерів в світі в питанні переробки та утилізації електронних відходів. В 2010 році в США перероблено 27% утворених електронних відходів, в тому числі 40% старих комп'ютерів, 33% моніторів, 33% принтерів та копіїв, 10% клавіатур та мишей, 17% телевізорів та 11% мобільних пристроїв [12]. Наведені дані показують, що тут переробляється менше третини утвореного електронного сміття. Тобто навіть найсучасніші технологічні і організаційні рішення цієї проблеми мають значний потенціал до подальшого вдосконалення.

Крім того індустрія по переробці відпрацьованої електронної техніки створює додаткові робочі місця. За оцінками організації Electronics TakeBack Coalition (<http://www.electronicstakeback.com>) переробка 10 тис. тонн електронного сміття на рік створює близько 300 робочих місць.

Міністерством екології та природних ресурсів України ще в 2009 році розроблений проект «Технічного регламенту поводження з відходами електронного та електричного обладнання (далі Технічний регламент)», в якому містяться норми, зокрема, щодо:

- ведення обліку відновленого обладнання, утворення і руху відходів електронного та електричного обладнання;
- прийом заявок на відновлення обладнання, утилізацію та/або видалення відходів електронного та електричного обладнання;
- затвердження (щорічного) переліку підприємств, які здійснюють операції щодо поводження з відходами електронного та електричного обладнання;

- систематизації інформації в регіональних та національному банках даних «Відновлене обладнання і відходи електронного та електричного обладнання»;
- створення системи збирання, перероблення та утилізації окремих відходів як вторинної сировини так і твердих побутових відходів;
- посилення контролю за дотриманням суб'єктами господарювання законодавства в даній сфері.

Даний документ був внесений на затвердження до Кабінету Міністрів України, але станом на травень 2012 року офіційно не прийнятий. Згідно плану заходів із впровадження Технічного регламенту, розроблених Кабінетом Міністрів України, обов'язкове застосування його вимог в Україні визначене з 2018 року. Такий термін на перший погляд здається досить віддаленим, бо проблема існує вже сьогодні. Але зазначений регламент встановлює достатньо високі вимоги до поводження з електронними відходами, які об'єктивно не можуть бути швидко виконані. Наприклад:

- а) не менше 60% маси відходів електронного та електричного обладнання відновлюватимуться чи утилізуються на спеціалізованих підприємствах;
- б) від 20 до 25% загальної маси відходів електронного та електричного обладнання відновлюються і повторно використовуються;
- в) від 55 до 80% ваги матеріалів відходів електронних та електричних повторно перероблятимуться;
- г) мінімальні рівні вторинної переробки матеріалів, що містяться у відходах електронного та електричного обладнання, складатимуть: 60% маси скла; 60% маси паперу та картону; 50% маси металів; 22,5% маси пластмаси, ураховуючи тільки матеріали, які знов перероблюються у пластмаси; 15% маси деревини.

Як видно, приведені вимоги значно перевищують існуючі показники з переробки електронних відходів навіть в передових країнах світу, і тому не можуть бути швидко реалізовані в сучасних умовах України.

Загальний аналіз проекту Технічного регламенту показує, що він підготовлений на достатньо професійному рівні, з урахуванням світового досвіду та вимог до поводження з електронними відходами. Регламент включає в себе організаційні, технічні, фінансово-економічні, екологічні аспекти поводження з відходами електронного та електричного обладнання. Його затвердження та поступове впровадження викладених в ньому вимог може значно сприяти розв'язанню проблеми електронних відходів в Україні. Проведений аналіз існуючого стану поводження з електронними відходами в Україні дозволив отримати наступні висновки та рекомендації:

- в Україні відсутнє офіційне (закріплене в нормативних документах) визначення поняття «електронні відходи»;
- відсутня статистична інформація щодо кількісних та якісних показників поводження з електронними відходами, яка необхідна в тому числі і для оцінки рівня їх реальної екологічної небезпеки;
- діюча система контролю за такими відходами недосконала і дозволяє достатньо легко уникати відповідальності;
- існуючий контроль за утворенням та поводженням з електронними відходами розповсюджується тільки на частку юридичних осіб, електронні

відходи, що знаходяться у власності фізичних осіб, взагалі не підлягають ніякому регулюванню;

- мала кількість спеціалізованих підприємств, що займаються утилізацією та знешкодженням електронних відходів, відсутня інформація щодо застосованих технологічних рішень, їх відповідності сучасному рівню та екологічним вимогам;

- відсутність фінансово-економічних механізмів для стимулювання ринку електронних відходів;

- низька інформованість власників електронних відходів (як юридичних так і фізичних осіб) про можливі напрями поводження з такими відходами та їх потенційну екологічну небезпеку;

- необхідне прийняття та поступове впровадження розробленого Мінприроди проекту «Технічного регламенту поводження з відходами електронного та електричного обладнання», розроблення та затвердження необхідних для його реалізації законодавчих та нормативних документів;

- позитивні результати може принести активізація роботи з виробниками обладнання, в багатьох державах світу саме виробники займаються утилізацією своєї відпрацьованої продукції.

Список літератури: 1. Шулаєва Ю.Е. Динамика накопления «электронных отходов» в Донецкой области / Ю.Е. Шулаєва, И.А.Александров // Збірник наукових праць «Економіка: проблеми теорії та практики», Дніпропетровськ: видавництво ДНУ, вип. 240, 2008. С. 28-38 2. Хомяков В.І. Менеджмент електронних відходів. Закордонний досвід / В.І. Хомяков, Н.М. Коробченко // Збірник наукових праць Черкаського державного технологічного університету. Серія: Економічні науки Вип. 24 – 2009. – С. 267–264 [Електронний ресурс] Режим доступу : http://www.nbu.gov.ua/portal/soc_gum/znpchdu/2009_24/articles/49_homyakov.pdf 3. Directive 2002/96/EC on waste electrical and electronic equipment of 27 January 2003 / European Parliament and council // Official Journal of the European Union. – 2003. – P. 24–38. 4. Дефиниция понятия «электронные отходы» [Електронний ресурс] / Шулаєва Ю.Е. – Режим доступу <http://sustainable-cities-net.org.ua/publicationshow.php?id=833> 5. Утворення та утилізація відходів за матеріалами у 2011 році [Електронний ресурс] / Державний комітет статистики України. – Режим доступу http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2012/ns_rik/ns_u/utvut_u2011.html 6. Green Chemistry vs Toxic Technology. The Problem With Electronics [Electronic resource] / Electronics TakeBack Coalition. – Mode of access: <http://www.electronicstakeback.com/toxics-in-electronics/> 7. Наказ Міністерства охорони навколишнього природного середовища та ядерної безпеки України «Про затвердження форми реєстрової карти об'єктів утворення, оброблення та утилізації відходів та Інструкції щодо її складання». – Офіційний вісник України. – 1999. – № 12. – С. 144 8. Шулаєва Ю.Е. Отражение авансовых платежей за рециклирование электронных отходов в цене товара / Ю.Е. Шулаєва // Торгівля і ринок України. Збірник наукових праць. – 2009. – Вип. 27. – С.501-507. 9. Bleiwas D. Obsolete Computers, "Gold Mine," or High-Tech Trash? Resource Recovery from Recycling / D. Bleiwas, T.Kelly // U.S. Geological Survey Fact Sheet. – 2001. – №060-01. – P.18–22 10. E-waste, the hidden side of IT equipment's manufacturing and use [Electronic resource] / Environment Alert Bulletin, United Nations Environment Programme 2005. – Mode of access: http://www.grid.unep.ch/product/publication/download/ew_ewaste.en.pdf 11. Williams E. Energy intensity of computer manufacturing: hybrid assessment combining process and economic input-output methods / E. Williams // Environmental Science & Technology. – 2004. – N38(22). – P.6166 - 6174. 12. Facts and Figures on E-Waste and Recycling [Electronic resource] / Electronics TakeBack Coalition. – Mode of access: http://www.electronicstakeback.com/wp-content/uploads/Facts_and_Figures

Поступила в редколлегию 05.06.2012

В.И. УБЕРМАН, канд. техн. наук, вед. науч. сотр., УкрНИИЭП, Харьков,
Л.А. ВАСЬКОВЕЦ, канд. биол. наук, доц., НТУ "ХПИ", Харьков

ОПРЕДЕЛЕНИЕ И ОЦЕНКА НАРУШЕНИЙ НОРМАТИВОВ СБРОСА ВОЗВРАТНЫХ ВОД

Розглядаються причини арбітражної неефективності державного екологічного контролю скидів забруднюючих речовин із зворотною водою. Запропоновані концептуальна модель та розрахункові процедури оцінки порушень нормативів гранично допустимого скидання. Наводяться результати досліджень легітимності та коректності визначення збитків, заподіяних державі скидом забруднюючих речовин великим промисловим водокористувачем.

Рассматриваются причины арбитражной неэффективности государственного экологического контроля сбросов загрязняющих веществ с возвратной водой. Предложены концептуальная модель и расчетные процедуры оценки нарушений нормативов предельно допустимого сброса. Приводятся результаты исследований легитимности и корректности определения убытков, причиненных государству сбросом загрязняющих веществ крупным промышленным водопользователем.

The causes of failure of state arbitration ecologically controlling discharges of pollutants from the water return. Proposed a conceptual model and computational procedures for assessing violations of the standards for maximum allowable discharges. The results of studies of legitimacy and correctness of the determination of damages caused by the state discharge of pollutants from large industrial water user.

1. Общая задача исследований и ее актуальность. Задачей заключительного звена системы государственного контроля хозяйственной деятельности предприятий в части соблюдения водного законодательства является установление фактов загрязнения водных объектов и определения размера убытков, нанесенных государству вследствие такого загрязнения. Основным инструментом для решения указанной задачи служит Методика [1, 2], в соответствии с которой определяются нарушения установленных нормативов, повлекшие загрязнения водных объектов, и размеры возмещения убытков, нанесенных государству такими загрязнениями. Методика применяется в случае нарушений, выявленных при государственном надзоре (контроле) водопользования. Результаты Методики используются для квалификации соответствующих правонарушений и преступлений. Таким образом, Методика является заключительным документом государственного контроля возвратных вод. На основании этой Методики с июля 2010 по март 2012 года судами Украины всех форм судопроизводства и уровней принято около 650 решений и постановлений. Суммы исков для крупных субъектов хозяйственной деятельности достигали десятков миллионов гривен. Однако большая часть предъявленных водопользователям исков о возмещении убытков получили отказные решения в судебных органах. В наибольшей степени это относится к спорам с крупными водопользователями. Низкая арбитражная эффективность

государственного контроля может привести к необратимой деградации водных объектов, утрате их ассимилирующей способности, некомпенсированным государству убытков вследствие сброса загрязняющих веществ.

На основании изложенного актуальными и практически значимыми являются исследования, направленные на повышение арбитражной эффективности государственного контроля соблюдения установленных нормативов сброса загрязняющих веществ в целом и его отдельных звеньев: отизмерений и установления факта нарушения до расчета суммы убытков.

2. Цель и задачи исследований. Целью данной работы является создание легитимного инструмента государственного контроля сбросов веществ с возвратной водой. Для этого решаются следующие основные задачи: анализ причин низкой арбитражной эффективности Методики, разработка концептуальных моделей и расчетных процедур оценки нарушений сброса.

3. Объект и предмет исследования. Содержательная структура Методики включает эколого-контрольную и экономическую части. Требования первой части определяют объем и содержание оперативной деятельности органов Государственной экологической инспекции (ГЭИ) по контролю соблюдению нормативов предельно допустимых сбросов (ПДС) загрязняющих веществ в водные объекты. Основной задачей контрольной части является определение факта и характеристик нарушения. Во второй части приведены процедуры расчета убытков, нанесенных государству. Экологическая часть Методики юридически наиболее уязвима и в своем современном состоянии позволяет предприятиям-нарушителям избегать ответственности. Эта часть является объектом исследования данной работы. Предмет исследования охватывает: процедуру проведения государственного контроля, обоснование и принятие решений при установлении факта нарушений, оценки характеристик нарушений установленных нормативов при сбросах воды многокомпонентного состава, расчетные процедуры количественной оценки факторов ущерба водному объекту от нарушений нормативов сброса.

4. Концепция сброса загрязняющих веществ с возвратной водой. Водный кодекс Украины (ВКУ) определяет загрязнение как процесс («поступление в водные объекты загрязняющих веществ», которые привносятся «в результате хозяйственной деятельности человека»). Привлечение к ответственности водопользователей-нарушителей возможно лишь в случае, когда сбрасываемые загрязняющие вещества приводят к ухудшению качества воды, т. е. «её пригодности для конкретных целей использования».

С одной стороны, факт нарушения условий сброса загрязняющих веществ должен устанавливаться на базе требований главного нормативно-правового акта Минприроды Украины – Инструкции [3]. Нарушением считается случай, когда концентрации нормированных веществ или свойства возвратных вод, а также значения сброса (массы) веществ, превышают соответствующие показатели, установленные для предприятия на текущий период. Исходя из этой нормы, для определения нарушения необходимо выявить превышение измеренных расходов сточных вод (ИР) над установленными расходами (УР), а также превышение измеренной концентрации (ИК) над установленной концентрацией (УК). При

этом нарушение будет иметь место в таких случаях: $УР < ИР$ и $УК < ИК$; $УР < ИР$ и $УК = ИК$; $УР = ИР$ и $УК < ИК$. Эта Инструкция длительное время не пересматривалась и в некоторых важных аспектах не соответствует требованиям ВКУ.

С другой стороны, законодательством предусматривается оценивать убытки, причиненные государству, на основании превышения лишь предельно допустимых сбросов загрязняющих веществ, т.е. факт нарушения должен устанавливаться *исходя из массы нормируемых веществ, а не концентрации*, как указано в Методике. Так как само по себе превышение установленной допустимой концентрации не является превышением ПДС, то такое превышение не является нарушением. Именно это несоответствие позволяет нарушителям оспаривать решения контролирующих органов и избегать экономических санкций. Исходя из изложенного, нарушение водного законодательства будет иметь место в случае, когда масса нормированных веществ, определенная по измеренным расходам и концентрациям, превышает установленный сброс (массу).

Назначение рассматриваемой Методики – определение ущерба. Эколого-экономическим условием возникновения ущерба в результате сверхнормативных сбросов, является нарушение пригодности воды водного объекта для установленного вида водопользования, т. е. превышение норм ПДК в водных объектах. Следовательно определение факта ущерба требует контроля не только возвратной воды на сбросе в водный объект, но состава и свойств воды водного объекта в фоновом и контрольном пунктах. К сожалению, в практике деятельности органов ГЭИ при проведении проверок в большинстве случаев рассматривается и учитывается лишь состав и расход возвратных вод. При этом содержание экономической категории и термина «убытки» искажается и практически подменяется понятиями «штаф», «сбор». На самом деле следовало бы рассматривать отдельно обе ситуации: с негативными последствиями для использования воды и без таких последствий. Само по себе превышение установленных нормативов ПДС влияет лишь на риск наступления (возникновения) негативных последствий для водного объекта.

Что касается многокомпонентного сброса загрязняющих веществ с возвратной водой, то характеристики нарушения нормативов ПДС, использованные в Методике, основываются на концептуальной модели параллельного (одновременного) независимого сброса в водный объект через один выпуск различных загрязняющих веществ с собственным расходом и концентрацией, но с одной и той же продолжительностью сброса. Эта модель описывается формулой (1):

$$M_i = (C_{i\phi} - C_{ид}) \times Q_{i\phi} \times t \times 10^{-6}, \quad (1)$$

где: M_i – масса сверхнормативного сброса i -го загрязняющего вещества в водный объект со сточными водами, т; $C_{i\phi}$ – средняя фактическая концентрация i -го загрязняющего вещества в возвратных водах, г/куб.м; $C_{ид}$ – значение утвержденного норматива ПДС i -го загрязняющего вещества, г/куб.м; $Q_{i\phi}$ – фактический расход возвратных вод, куб.м/час; t – продолжительность сброса

возвратных вод с нарушением нормативов ПДС, час; 10^{-6} – коэффициент пересчета массы загрязняющих веществ.

Такая модель является ошибочной по сути, т.к. все загрязняющие вещества находятся в составе одного потока с общим расходом возвратной воды, а независимыми у них являются только концентрации продолжительности нарушений. Кроме того, использованная модель противоречит концепции нормирования сбросов веществ с помощью ПДС в действующей Инструкции [3]. Последняя предусматривает, что сброс через один выпуск происходит с одинаковым для всех веществ расходом возвратных вод, а концентрации загрязняющих веществ в течении фиксированного времени сброса изменяются независимо одна от другой и могут приводить к превышению нормативов ПДС независимо во времени.

Основными событиями, рассматриваемыми в Методике, являются сверхнормативные сбросы загрязняющих веществ в водный объект, превышающие ПДС. Отсюда следует, что ***сравнение должно проводиться относительно норматива ПДС***, т.е. конкретного значения ***массы вещества*** в возвратной воде, которая является максимально допустимой для отведения с установленным режимом для этого пункта водного объекта в единицу времени. Вместо этого в основных формулах Методики расчет базируется на превышении «утвержденной допустимой концентрации». При этом происходит подмена понятий: ***вместо «сверхнормативного сброса» определяется другая величина: масса вещества в возвратной воде, фактически сброшенная с превышением утвержденной допустимой концентрации.***

Результаты такого ошибочного контроля видны на примере сброса возвратных вод ОАО «Металлургический комбинат «Азовсталь» из шламонакопителя сточных вод через выпуск № 9 в Азовское море (таблица). Установленные предприятию условия сброса приведены в столбцах 2–5. Результаты контроля состава возвратных вод ГЭИ Азовского моря указаны в столбцах 6–8 (превышения установленных допустимых концентраций выделены), табл. 1 в столбцах 3–5 – фактические сбросы во время контрольных эпизодов, в столбцах 6–8 – превышения фактическими сбросами установленных нормативов (выделены положительные значения, табл. 2). В столбце 2 выделены ячейки показателей, для которых, необходимо определение убытков.

Из таблиц видно, что факты превышения норм ПДС, установленные ГЭИ, отличаются от легитимных. Несмотря на «выгоду» для государства этот расчет был оспорен в суде.

Таким образом, основной причиной невозможности привлечения нарушителей водного законодательства к ответственности и применения экономических санкций является несовершенство используемой Методики, что определяет ее низкий арбитражный эффект. К причинам этого следует отнести:

1) несоответствие процедуры установления факта возникновения убытков, основанной на превышении концентрации загрязняющего вещества в возвратной воде, требованиям законодательства;

- 2) нечеткое описание случаев, для которых определяются убытки, связанные с загрязнением водного объекта вследствие действий водопользователя;
- 3) концептуальные ошибки, касающиеся особенностей сброса возвратной воды многокомпонентного состава через один выпуск.

Таблица 1- Характеристика сброса возвратных вод ОАО
«Металлургический комбинат «Азовсталь» из шламонакопителя сточных вод в
Азовское море по данным ГЭИ

№ п/п	Сброшено сточных вод, тыс. м ³		Средний расход сточных вод, м ³ /час	Утвержденный объем сброса, м ³ /час	Проба ГЭИАМ 30.10. 2009, ₃ мг/дм ³	Проба ГЭИАМ 11.11. 2009, ₃ мг/дм ³	Проба ГЭИАМ 30.11. 2009, ₃ мг/дм ³
	Показатели состава сточных вод	Фактическая концентрация, мг/дм ³	Утвержд.допуст.к онцентрация, мг/дм ³	Утвержденный ПДС, г/час			
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Взвеш. вещества	28,5	20	616438	41	41	20
2	БПК ₅	2,87	2,25	69349	3,22	2,09	1,67
3	Минерализация	5446	5446	167856067	7197	9206	8362
4	Сульфаты	968	1000	30821900	834,7	728,6	861,5
5	Хлориды	2563	2600	80136940	3379	3013,9	3836,9
6	Азот аммонийный	0,93	0,93	28664	4,51	2,5	4,13
7	Нитриты (N0₂)	0,23	0,12	3699	0,342	0,196	0,172
8	Нитраты (N0 ₃)	4,63	5	1541095	1,74	1,85	1,74
9	Фосфаты	0,22	0,35	10788	0,061	0,069	0,066
10	Нефтепродукты	0,1	0,1	3082	0,115	0,118	0,204
11	Железо общее	0,55	0,21	6473	2,4	0,629	2,168
12	Медь	0,035	0,007	215	0,034	0,036	0,023
13	Цинк	0,057	0,05	1541	0,03	0,032	0,064

Для устранения указанных ошибок и достижения цели Методики вместо приведенной в Методике ошибочной формулы (1) необходимо использовать формулу (2):

$$M_i = (C_{i\phi} \times Q_{\phi} - \text{ПДС}_i) \times t_{i\phi} \times 10^{-6}, \quad (2)$$

где: M_i – масса сверхнормативного сброса i -го загрязняющего вещества в водный объект с возвратной водой, т; $C_{i\phi}$ – средняя фактическая концентрация i -го загрязняющего вещества в возвратной воде, г/куб.м; Q_{ϕ} – фактический расход возвратной воды, куб.м/час; ПДС_i – значение утвержденного норматива ПДС i -го загрязняющего вещества, г/час; $t_{i\phi}$ – продолжительность сброса возвратной воды с нарушением утвержденного норматива ПДС i -го загрязняющего вещества, час; 10^{-6} – коэффициент пересчета массы загрязняющих веществ.

Если M_i , вычисленное по формуле (2), имеет положительное значение, то водопользователем превышает норматив ПДС_i , установленный для i -го загрязняющего вещества.

Из приведенного следует, что факт установления нарушения нормативов ПДС должен определяться ГЭИ в процессе проверки деятельности водопользователя путем использования формулы (3) относительно каждой контрольной пробы n :

$$D_{in} = C_{in} \times Q_{\phi} - \text{ПДС}_i, \quad 3)$$

где: D_{in} – сверхнормативный сброс i -го загрязняющего вещества в водный объект с возвратными водами, г/час (массовый расход); C_{in} – фактическая концентрация i -го загрязняющего вещества в контрольной пробе n возвратных вод, г/куб.м; Q_{ϕ} – фактический расход возвратных вод, куб.м/час; ПДС_i – значение утвержденного норматива ПДС i -го загрязняющего вещества, г/час.

Таблица 2- Характеристика сброса возвратных вод ОАО «Металлургический комбинат «Азовсталь» из шламонакопителя сточных вод в Азовское море по расчетным данным

№ п/п	Сброшено сточных вод, тыс. м ³	Сброс 30.10.2009, г/час	Сброс 11.11.2009, г/час	Сброс 30.11.2009, г/час	Превышение ПДС 30.10.2009, г/час	Превышение ПДС 11.11.2009, г/час	Превышение ПДС 30.11.2009, г/час
	Показатели состава сточных вод						
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Взвеш. вещества	869473,333	869473,333	424133,333	253035,333	253035,3333	-192304,667
2	БПК ₅	68285,467	44321,933	35415,133	-1063,533	-25027,061	-33933,867
3	Минерализация	152624380	195228573,3	177330146,7	-15231687	27372506,33	9474079,667
4	Сульфаты	17701204,67	15451177,33	18269543,33	-13120695,33	-15370722,7	-12552356,7
5	Хлориды	71657326,67	63914772,67	813678,593	-8479613,333	-16222167,3	-79323261,4
6	Азот аммонийный	95642,067	53016,667	87583,533	66978,067	24352,667	58919
7	Нитриты (NO ₂)	7252,68	4156,507	3647,547	3553,68	457,507	-51,453
8	Нитраты (NO ₃)	36899,6	39232,333	36899,6	-1504195,4	-1501862,67	-1504195,4
9	Фосфаты	1293,607	1463,26	1399,64	-9494,393	-9324,74	-9388,36
10	Нефтепродукты	2438,767	2502,387	4326,16	-643,233	-579,613	1244,16
11	Железо общее	50896	13338,993	45976,053	44423	6865,993	39503,053
12	Медь	721,027	763,44	487,753	506,027	548,44	272,753

Требуемая в экономической части Методики величина массы M_i^p сверхнормативного сброса i -го загрязняющего вещества в водный объект для каждого расчетного эпизода продолжительностью t_i^p , состоящего из N_p последовательных пробс превышениями нормативов $\text{ПДС}_i D_{in}^p > 0$, определяется как

$$M_i^p = \sum_{n=1}^{N_p} D_{in}^p \times t_i^p \times 10^{-6} \quad 4)$$

где D_{in}^p –сверхнормативный сброс из (3) для p -го эпизода.

5. Выводы.Основной документ государственного реагирования на нарушения нормативов при сбросах возвратной воды, содержит существенные недостатки. Они не позволяют эффективно пользоваться Методикой, фактически уничтожают её арбитражное значение и ценность для определения убытков от сброса загрязняющих веществ, полностью выводят водопользователей-нарушителей из-под влияния государственного контроля нормативов ПДС веществ. Указанные в данной работе принципиальные недостатки могут быть устранены лишь при коренной переработке Методики. Предложенная концептуальная модель и расчетные процедуры оценки нарушений нормативов

сброса позволяют легитимно и корректно применять Методику в системегосударственного контроля для определения убытков от сброса загрязняющих веществ с возвратной водой.

Список литературы: 1. Методика розрахунку розмірів відшкодування збитків, заподіяних державі внаслідок порушення законодавства про охорону та раціональне використання водних ресурсів (затв. наказом Мінприроди України 20.07.2009 № 389, зареєстр. в Мінюсті України 14 серпня 2009 р. за № 767/16783). 2. Зміни до Методики розрахунку розмірів відшкодування збитків, заподіяних державі внаслідок порушення законодавства про охорону та раціональне використання водних ресурсів (затв. наказом Мінприроди України 30.06.2011 № 220, зареєстр. в Мінюсті України 15 липня 2011 р. за № 881/19619). 3. Інструкція про порядок розробки та затвердження граничнодопустимих скидів (ГДС) речовин у водні об'єкти із зворотнимиводами (затв. наказом Мінприроди України 15.12.1994 р. № 116, зареєстр. в Мінюсті України 22 грудня 1994 р. за № 313/523).

Поступила в редколлегию 15.06.2012

УДК 628.164.081.312.32

В.В. РИСУХІН, директор ТОВ «Технології природи», Алчевськ,
О.В. ГЛУШКО, канд. техн. наук, ст. викл, НТУУ «КПІ», Київ,
І.М. МАКАРЕНКО, канд. техн. наук, н. с., НТУУ «КПІ», Київ

ВПЛИВ КОНЦЕНТРАЦІЇ РОЗЧИНІВ СІРЧАНОЇ КИСЛОТИ, ФОРМИ КАТІОНІТУ DAWEX-МАС-3 НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ЙОГО РЕГЕНЕРАЦІЇ

Досліджено процеси пом'якшення води з використанням катіоніту DAWEX-МАС-3. Показано, що іоніт є більш селективним при сорбції іонів кальцію, в порівнянні з магнієм. Визначено вплив форми іоніту, концентрації сірчано-кислих регенераційних розчинів на ефективність десорбції іонів кальцію та магнію, ступінь регенерації іоніту. Запропоновано методи переробки відпрацьованих регенераційних розчинів.

Ключові слова: іонний обмін, катіоніт, регенерація, опріснення води.

Исследованы процессы умягчения воды при использовании катионита DAWEX-МАС-3. Показано, что ионит более селективен при сорбции ионов кальция по сравнению с ионами магния. Установлено влияние формы ионита, концентрации сернокислых регенерационных растворов на эффективность десорбции ионов кальция и магния, степень регенерации ионита. Предложены методы переработки отработанных регенерационных растворов.

Ключевые слова: ионный обмен, катионит, регенерация, обессоливание воды.

Processes of an umyagcheniye of water when using cationite are investigated by DAWEX-МАС-3. It is shown that the ionite is more selective at a sorbtsiya of ions of calcium in comparison with magnesium ions. Influence of a form of an ionite, concentration of sernokisly regeneration solutions on efficiency of a desorption of ions of calcium and magnesium, extent of regeneration of an ionite is established. Methods of processing of the fulfilled regeneration solutions are offered.

Keywords: ionic exchange, cationite, regeneration, water desalting.

1. Вступ

На сьогодні наряду з іншими проблемами забруднення водних об'єктів досить гостро стоїть проблема різкого підвищення рівня мінералізації води в поверхневих водоймах. Ця тенденція досить чітко виражена в промислових

густонаселених регіонах. Частіше за все підвищення солевмісту відбувається внаслідок скиду шахтних та промислових стічних вод. Крім того, значну кількість засолених стоків скидають теплоенергетичні об'єкти та підприємства комунальних служб. Радикальним способом вирішення даної проблеми є масове впровадження замкнених водоциркуляційних систем як на промислових підприємствах, так і в комунальних господарствах. А для цього необхідно вирішити проблему створення маловідходних процесів демінералізації води при її підготовці для промислових підприємств, об'єктів теплоенергетики та комунальних господарств, при очищенні стічних вод [1]. На сьогодні до високоефективних методів знесолення води, які все ширше застосовуються як в промисловості, так і в комунальних господарствах можна віднести баромембранні процеси, такі як зворотній осмос та нанофільтрування. При застосуванні даних методів гостро стоїть проблема стабілізаційної обробки води перед стадією мембранного очищення, для запобігання осадковідкладення на мембранах. Головною причиною осадкоутворення є відкладення карбонату кальцію при перевищенні допустимого вмісту карбонатів та іонів кальцію в концентратах.

Проблему стабілізації можна вирішувати як за рахунок пом'якшення води, так і за рахунок її декарбонізації. При натрій-катіонному пом'якшенні води суттєво підвищується її лужність [2], що навіть за невисоких концентрацій кальцію призводить до відкладення осадів. З іншої сторони, повне видалення іонів жорсткості з води на стадії попередньої обробки економічно недоцільне. Тому кращим вирішенням проблеми може бути застосування слабокислотних катіонітів в кислій формі перед мембранним очищенням води. При такій обробці буде відбуватись часткове пом'якшення води з повною її декарбонізацією при зниженні рН до 3÷4 [3], що ніяк не впливатиме на роботу мембран. За таких умов в процесах нанофільтрації вихід перміату можна підвищити з 75÷80 % до 90÷95 % без суттєвого ризику осадкоутворення на мембранах. Обмеження можуть бути лише з точки зору селективності та продуктивності мембран, зростання осмотичного опору та робочого тиску процесу.

Кислотна регенерація катіонітів не є складною проблемою [4,5], проте регенерація з допомогою сірчаної кислоти вивчена недостатньо, так саме як і процеси утилізації відпрацьованих сірчаноокислих розчинів.

Метою даної роботи було вивчення процесів стабілізаційної обробки води з допомогою слабокислотного катіоніту DAWEX-MAC-3, вивчення процесів його регенерації розчинами сірчаної кислоти, визначення умов переробки та утилізації регенераційних розчинів.

2.Методи та результати досліджень

В процесах іонообмінного пом'якшення та стабілізаційної обробки води з допомогою слабокислотного катіоніту DAWEX-MAC-3 використовували водопровідну воду ($J=4.0$ мгекв/дм³, $C_{Ca^{2+}}=2.90$ мгекв/дм³, $C_{Mg^{2+}}=1.10$ мгекв/дм³, $L=3.95$ мгекв/дм³). При вивченні процесів регенерації для переведення іоніту іоніту в Ca, Mg- форму використовували розчини суміші хлоридів кальцію та магнію з концентраціями по кальцію 50÷200 мгекв/дм³, концентраціями по магнію 25÷150 мгекв/дм³. Для регенерації іоніту використовували розчини

сірчаної кислоти концентрацією $200 \div 600$ мгекв/дм³ ($\sim 1 \div 3\%$). При переведенні іоніту в Ca, Mg- форму модельними розчинами його попередньо переводили в Na⁺- форму з допомогою 2 %-ного розчину луку. Для пом'якшення відпрацьованих регенераційних розчинів їх обробляли 10 %-ним розчином соди та 2 %-ним розчином луку.

Таблиця 1 - Зміна характеристик води ($J=4.0$ мгекв/дм³, $C_{Ca^{2+}}=2.90$ мгекв/дм³, $C_{Mg^{2+}}=1.10$ мгекв/дм³, $L=3.95$ мгекв/дм³, $pH=7.40$) при послідовній її обробці на H⁺-катіонному фільтрі DAWEX-MAC-3 при нанофільтруванні та повторному фільтруванні перміату через даний катіоніт в Ca, Mg- формі

Стадія обробки		Характеристики води				ОДЄ, гекв/дм ³		Z, %	
		Ж, мгекв/ дм ³	С, мгекв/дм ³		Л, мгекв/ дм ³	рН	повн а		робо ча
			Ca ²⁺	Mg ²⁺					
Н ⁺ -катіонування (DAWEX-MAC-3 в Н ⁺ - формі)		1.15	0.28	0.87	0.00	4.35	3950	3135	-
нанофіль трування	перміат	0.37	0.12	0.25	0.12	5.32	-	-	-
	концетрат	7.92	1.57	6.35	-	3.58	-	-	-
Катіонування перміату (DAWEX-MAC-3 в Ca, Mg- формі)		1.70	1.26	0.44	1.65	7.20	-	-	50.1
Катіонування перміату (DAWEX-MAC-3 в Na ⁺ - формі.)		0.00	0.00	0.00	1.67	7.3	-	-	47.3

Про ефективність стабілізаційної обробки води з допомогою слабокислотного катіоніту DAWEX-MAC-3 в кислій формі можна судити по результатах приведених в табл.1. В даному випадку через іонообмінний фільтр, заповнений слабокислотним катіонітом в кислій формі пропустили 150 дм³ води. Оброблену воду пропустили через нанофільтраційний фільтр, відібравши 90 % перміату. Отриманий перміат пропускали через катіоніт DAWEX-MAC-3 в Ca, Mg- формі.

Як видно з таблиці, при пропусканні води через кислий катіоніт лужність води знизилась до нуля, що свідчить про повне видалення карбонатів та гідрокарбонатів з води. При цьому pH води знизився до 4.35, а жорсткість до 1.15 мгекв/ дм³ при залишковому вмісті іонів кальцію 0.28 мгекв/дм³. Це дозволило досягти виходу перміату на рівні 90 % без будь-якого ризику осадковідкладень на мембрані. Цей ризик мінімальний і по тій причині, що pH концентрату, в порівнянні з вихідною катіонованою водою знизився з 4.35 до 3.58, а вміст кальцію в концентраті досяг лише 1.57 мгекв/дм³. Навіть при високих концентраціях сульфатів відкладення осадів з такого концентрату неможливе, тому що розчинність сульфату кальцію (~ 200 мг/дм³) значно вища його можливих концентрацій – 1.57 мгекв/дм³.

В даному випадку рН перміату досягав 9.32, що значно нижче допустимих рівнів. Для питної води для корегування рН можна використати мінеральні домішки на основі доломіту, крейди і т.д. проте в даному випадку краще використати відпрацьований катіоніт в Са, Mg- формі. При фільтруванні води через даний катіоніт рН води зростає до 7.2, а лужність сягала 1.7 мгеку/дм³, що відповідає вимогам до якості питної води. Для промислових вод можна використати іоніт в Na⁺-формі. Результати аналогічні до попередніх, за винятком того, що жорсткість води знижується до нуля, при цьому лужність зростає до 1.67 мгеку/дм³, а рН до 7.3. Слід відмітити, що при пропусканні перміату через катіоніт в сольовій формі можна досягти переведення його в кислоту форму на 50 %, що суттєво скоротить витрату кислоти на його регенерацію. Слід відмітити, що даний підхід забезпечує зниження об'ємів відходів (концентратів) при

опрісненні води в 2÷3 рази. Проте не дивлячись на всі переваги процесу стабілізаційної обробки води на слабокислотному катіоніті в кислій формі, проблема регенерації катіоніту та переробки регенераційних розчинів існує. Враховуючи те, що сульфатмісткі розчини переробляти в кислоту та луг електрохімічним методом простіше, в порівнянні з розчинами, що містять хлориди [6], регенерацію проводили розчинами сірчаної кислоти. Але спочатку, враховуючи низьку розчинність сульфату

кальцію, визначили ефективність сорбції іонів кальцію та магнію на вибраному катіоніті. Результати сорбції приведені на рис.1 та в табл.2.

В даному випадку відмічено високу ємність іоніту по іонах жорсткості та дещо вищу його селективність по іонах кальцію, в порівнянні з іонами магнію. Для обробки води це позитивний момент, так як її стабільність тим вища, чим менший вміст кальцію. Проте при регенерації іоніту сірчаною кислотою це може призвести до ускладнень процесу через випадання осаду сульфату кальцію та загіпсовування іоніту. Тому при регенерації іоніту використовували розведені розчини сірчаної кислоти ~ 1÷3%.

Результати регенерації іоніту в Са, Mg- формі ~1 %-ним розчином сірчаної кислоти (K=200 мгеку/дм³) приведені на рис.2,3.

Як видно з рисунку 2 десорбція іонів жорсткості визначається концентрацією кислоти та витратою кислоного розчину. В даному випадку вміст іонів жорсткості залежить лише від концентрації кислоти, а співвідношення концентрації кальцію

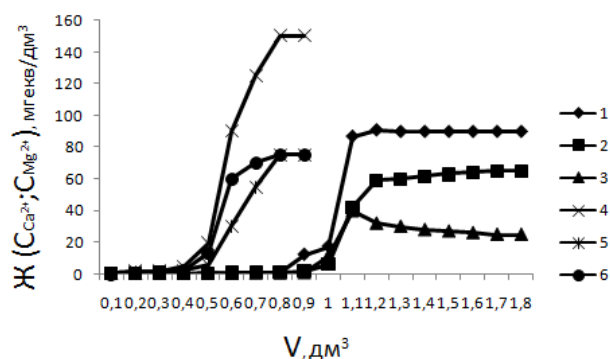


Рис.1. Залежність вихідної жорсткості (1;4), концентрації іонів кальцію (2;5) та магнію (3;6) від пропущеного об'єму розчину (Ж=90 мгеку/дм³, C_{Ca²⁺}=65мгеку/дм³, C_{Mg²⁺}=25мгеку/дм³)(1;2;3) та розчину (Ж=150 мгеку/дм³, C_{Ca²⁺}=75мгеку/дм³, C_{Mg²⁺}=75мгеку/дм³) (4;5;6) через іоніт DAWEX-МАС-3 в Na⁺- формі (V_i=20 см³)(E₁=4.412 гекку/дм³, E₂=3.400 гекку/дм³, E₃=1.012 гекку/дм³, E₄=4.038 гекку/дм³, E₅=2.148 гекку/дм³, E₆=1.890 гекку/дм³)

та магнію в регенераційних розчинах в основному визначається масою сорбованих іонів кальцію (m_{Ca}^c) або магнію (m_{Mg}^c) на іоніті, який регенерується.

Таблиця 2- Вплив співвідношення концентрацій іонів кальцію і магнію на величину їх сорбції на катіоніті DAWEX-МАС-3 в Na^+ - формі ($V_i=20 \text{ см}^3$)

№ п.п.	Ж мгекв/ дм ³	[Ca ²⁺], мгекв/ дм ³	[Mg ²⁺], мгекв/ дм ³	Кількість сорбованих іонів, мгекв			ПОДС, гекв/дм ³ по іонах		
				$\Sigma Ca^{2+},$ Mg^{2+}	Ca^{2+}	Mg^{2+}	$\Sigma Ca^{2+},$ Mg^{2+}	Ca^{2+}	Mg^{2+}
1	150	75	75	77.00	39.75	37.25	3.850	1.988	1.862
2	160	80	80	89.50	45.00	44.50	4.475	2.250	2.225
3	100	50	50	76.30	56.90	19.40	3.815	2.845	0.970
4	160	120	40	76.50	58.30	18.00	3.825	2.915	0.910
5	150	50	100	79.10	32.30	46.80	3.955	1.615	2.340
6	200	100	100	97.55	68.17	29.38	4.878	3.399	1.469
7	250	125	125	75.90	53.04	22.86	3.832	2.690	1.143
8	300	150	150	84.09	58.73	25.31	4.202	2.936	1.266
9	200	120	80	75.50	58.64	16.85	3.776	2.932	0.844
10	300	200	100	84.55	69.56	14.99	4.228	3.478	0.750
11	320	240	80	77.98	66.78	11.20	3.899	3.339	0.560
12	150	50	100	75.91	40.77	35.14	3.795	2.038	1.757

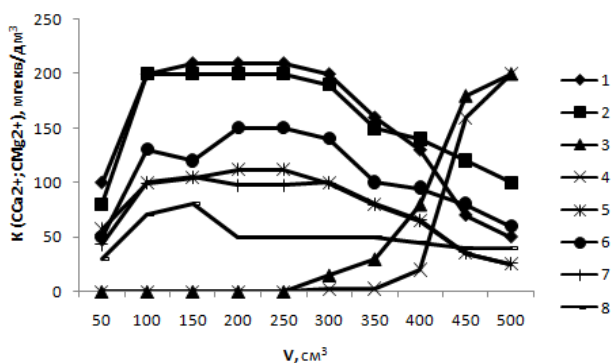


Рис.2. Залежність жорсткості (1;2), кислотності (3;4), концентрації кальцію (5;6) та магнію (7;8) від пропущеного об'єму сірчаної кислоти ($K=200 \text{ мгекв/дм}^3$) через слабокислотний катіоніт DAWEX-МАС-3 в кальцій-магній формі ($V_i=20 \text{ см}^3$) при ємності іоніту по іонах жорсткості 3.950 гекв/дм^3 (1;3;5;7) ($m_{Ca}^c=39.75 \text{ мгекв}$, $m_{Mg}^c=37.25 \text{ мгекв}$) та 3.958 гекв/дм^3 (2;4;6;8) ($m_{Ca}^c=54.35 \text{ мгекв}$, $m_{Mg}^c=24.80 \text{ мгекв}$)

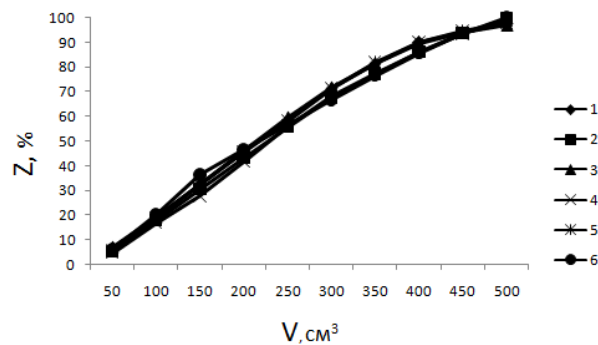


Рис.3. Залежність ступеню регенерації катіоніту катіоніт DAWEX-МАС-3 в Ca, Mg- формі (1;2) ($V_i=20 \text{ см}^3$), ступеню десорбції іонів кальцію (3;4) та магнію (5;6) від пропущеного об'єму розчину сірчаної кислоти ($K=200 \text{ мгекв/дм}^3$) через катіоніт при ємності іоніту по іонах жорсткості 3.950 гекв/дм^3 (1;3;5) ($m_{Ca}^c=39.75 \text{ мгекв}$, $m_{Mg}^c=37.25 \text{ мгекв}$) та 3.958 гекв/дм^3 (2;4;6) ($m_{Ca}^c=54.35 \text{ мгекв}$, $m_{Mg}^c=24.80 \text{ мгекв}$)

При повторному використанні відпрацьованих кислих регенераційних розчинів та переробці нейтральних елюатів можна досягти повної регенерації катіоніту з утворенням нейтральних розчинів сульфатів кальцію та магнію.

При цьому не відмічено випадання осадів сульфату кальцію навіть у випадку високого вмісту іонів кальцію в іоніті (~ 54 мгекв на 20 см^3 іоніту) та в розчині ~ 150 мгекв/дм³ (10.2 г/дм^3). Ступінь регенерації іоніту був достатньо високий як по іонах кальцію та магнію, так і по іонах жорсткості взагалі (рис.3). При цьому кислотність розчину була рівна нулю або була не більшою 5 мгекв/дм³ при досягненні ступеню регенерації $55 \div 71 \%$.

Проблемою є те, що при низькій концентрації кислоти питома витрата реагенту на регенерацію іоніту (q_p , дм³/дм³) сягає $25 \text{ дм}^3/\text{дм}^3$, при необхідності переробки нейтральних розчинів виходячи з їх витрати $12\text{-}15 \text{ см}^3$ на 1 см^3 іоніту.

Зменшити питому витрату розчину реагенту на регенерацію іоніту можна за рахунок підвищення його концентрації. Результати по регенерації катіоніту в Ca, Mg- формі приведені на рис.4. Ступеню регенерації $\sim 56 \div 58 \%$ досягнуто при $q_p = 7.5 \text{ дм}^3/\text{дм}^3$ ($K=0.00$ мгекв/дм³), повної регенерації досягнуто при $q_p = 15 \text{ дм}^3/\text{дм}^3$. Особливістю процесу є те, що в регенераційних розчинах, отриманих при обробці іоніту з вищим вмістом кальцію ($m_{Ca}^c = 55.55$ мгекв на 20 см^3 іоніту) в пробах з високим вмістом іонів жорсткості спостерігалось висадження сульфату кальцію з відповідним зниженням його вмісту в розчинах.

Тому для даної проби іоніту розрахований ступінь регенерації не перевищував 77% , а ступінь десорбції кальцію -67% . Так як магній не утворює нерозчинних осадів і десорбується практично повністю незалежно від концентрації кислоти, то в даному випадку криві десорбції по магнію не приводились.

Слід відмітити, що і у випадку регенерації іоніту з кількістю сорбованого кальцію 44.80 мгекв на 20 см^3 іоніту, коли досягнуто ступеню регенерації $\sim 100 \%$, і при $m_{Ca}^c = 55.55$ мгекв на 20 см^3 іоніту, коли розрахований ступінь регенерації сягав $\sim 77\%$, реально було досягнуто повного переведення іоніту в кислу форму, що було підтверджено сорбцією іонів натрію при обробці іоніту розчином луку. Зниження показників по регенерації іоніту у другому випадку обумовлено висадженням сульфату кальцію з регенераційних розчинів.

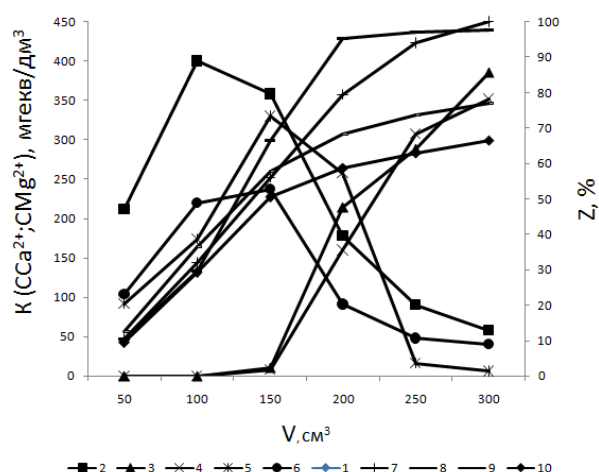


Рис.4. Вплив витрати розчину сірчаної кислоти ($K=400$ мгекв/дм³) на жорсткість (1;2), кислотність (3;4) розчину, концентрацію іонів кальцію (5;6), ступінь регенерації іоніту (7;8) DAWEX-МАС-3 в Ca, Mg- формі, ступінь десорбції іонів кальцію (9;10) при пропусканні його через іоніт ($V_i=20 \text{ см}^3$) з ємністю іоніту по іонах жорсткості 4.360 гекв/дм^3 (1;3;5;7;9) ($m_{Ca}^c=44.80$ мгекв, $m_{Mg}^c=42.40$ мгекв) та з ємністю 4.203 гекв/дм^3 (2;4;6;8) ($m_{Ca}^c=55.55$ мгекв, $m_{Mg}^c=28.50$ мгекв)

При використанні 3%-ного розчину сірчаної кислоти випадання сульфату кальцію спостерігалось як при регенерації катіоніту з ємністю по іонах кальцію ~ 2.88 гекв/дм³, так і з ємністю 2.048 гекв/дм³ (рис.5). Кількість осадів зростала з підвищенням концентрації іонів кальцію. При ємності іоніту по кальцію ~ 1.426 гекв/дм³ (криві 3;6;9) осадкоутворення не спостерігалось. В даному випадку зниження розрахованого ступеню регенерації (рис.6), як і в попередньому випадку, обумовлене не зниженням ефективності десорбції, а випаданням осаду сульфату кальцію, що не дає можливості правильно розрахувати реальний ступінь регенерації іоніту.

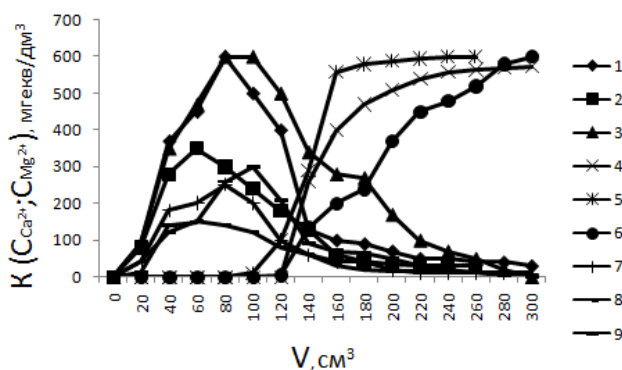


Рис.5. Залежність жорсткості (1;2;3), кислотності (4;5;6), концентрації іонів кальцію (7;8;9) від пропущеного об'єму розчину сірчаної кислоти ($K=600$ мгекв/дм³) через катіоніт Dawex MAC-3 в Ca, Mg-формі ($V_i=20$ см³) при ємності іоніту 4.030 гекв/дм³ (1;4; 7) ($m^c_{Ca}=40.95$ мгекв, $m^c_{Mg}=39.65$ мгекв), 3.850 гекв/дм³ (2;5;8) ($m^c_{Ca}=57.60$ мгекв, $m^c_{Mg}=19.40$ мгекв) та 3.925 гекв/дм³ (3;6;9) ($m^c_{Ca}=28.51$ мгекв, $m^c_{Mg}=49.99$ мгекв)

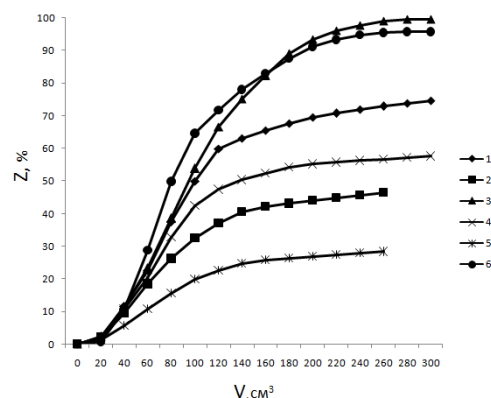


Рис.6. Залежність ступеню регенерації катіоніта Dawex MAC-3 в Ca, Mg-формі (1;2;3) та ступеню десорбції іонів кальцію (4;5;6) від пропущеного об'єму розчину сірчаної кислоти ($K=600$ мгекв/дм³) через 20 см³ іоніту при ємності катіоніту по іонах жорсткості: 4.030 гекв/дм³ (1;4) ($m^c_{Ca}=40.95$ мгекв, $m^c_{Mg}=39.65$ мгекв), 3.850 гекв/дм³ (2;5) ($m^c_{Ca}=57.60$ мгекв, $m^c_{Mg}=19.40$ мгекв) та 3.925 гекв/дм³ (3;6;) ($m^c_{Ca}=28.51$ мгекв, $m^c_{Mg}=49.99$ мгекв)

Випадання осаду сульфату кальцію з однієї сторони спрощує процес переробки відпрацьованих елюатів, з іншої сторони це може спричинити загипсовування іоніту і втрати його ефективності. Очевидно, що при сірчано-кислотній регенерації іоніту на першій стадії недоцільно використовувати розчини кислоти з концентрацією більше ніж 2 %.

При переробці відпрацьованих регенераційних розчинів методом електролізу необхідно видалити з них іони жорсткості, так як при жорсткості >5 мгекв/дм³ різко знижується електропровідність катіонних мембран та зменшується вихід за струмом сірчаної кислоти та лугу.

Для пом'якшення відпрацьованих регенераційних розчинів використовували розчини соди та лугу, додаючи соду в еквівалентній кількості вмісту іонів магнію в регенераційному розчині.

Результати по пом'якшенню відпрацьованих регенераційних розчинів приведені в табл.3. Як видно із таблиці при використанні лише соди, без додавання лугу

хороші результати по пом'якшенню розчину отримано при низькому вмісті іонів магнію в відпрацьованому елюаті (I), при додаванні соди та лугу отримано високу ефективність пом'якшення відпрацьованих регенераційних розчинів, незалежно від вмісту іонів кальцію та магнію.

Таблиця 3- Ефективність пом'якшення відпрацьованих регенераційних розчинів (Ж= 39 мгекв/дм³, [CaSO₄] = 31 мгекв/дм³, [MgSO₄]= 8 мгекв/дм³) (I) та (Ж= 69 мгекв/дм³, [CaSO₄] = 40 мгекв/дм³, [MgSO₄]= 29 мгекв/дм³) (II) при обробці розчинами соди та лугу

Витрата Na ₂ CO ₃ , мгекв/дм ³		Витрата NaOH, мгекв/дм ³		Ж, мгекв/дм ³		[Ca ²⁺], мгекв/дм ³		[Mg ²⁺], мгекв/дм ³		Л, мгекв/дм ³	
I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
31	40	-	-	4.0	22.4	0.8	20.0	3.2	20.4	4.9	6.0
31	40	8	29	2.7	4.3	0.2	1.5	2.5	2.8	8.5	9.3

При електролізі отриманих розчинів сульфату натрію, як описано в [6], можна отримати луг та сірчану кислоту, в концентраціях 5÷10 %, що цілком достатньо для регенерації іоніту та обробки відпрацьованих регенераційних розчинів. Це дає можливість організувати замкнені цикли де мінералізації води при використанні слабо кислотного катіоніту DAWEX-MAC-3 в кислій формі.

3. Висновки

1. Теоретично обґрунтовано та експериментально підтверджено доцільність застосування слабокислотного катіоніту DAWEX-MAC-3 в кислій формі для стабілізаційної обробки води перед нанофільтраційним опрісненням. Показано, що при цьому жорсткість води знижується до 1.5 мгекв/дм³, вміст кальцію до 0.28 мгекв/дм³ при повному видаленні карбонат та гідрокарбонат аніонів.

2. Визначено вплив концентрації та витрати розчинів сірчаної кислоти на ефективність регенерації слабокислотного катіоніту в Ca, Mg формі. Встановлено, що при концентрації кислоти 1-3 % можна досягти повної регенерації катіоніту з отриманням нейтральних відпрацьованих елюатів. При цьому з підвищенням вмісту кальцію в іоніті та вихідної концентрації кислоти зростає інтенсивність випадання осаду сульфату кальцію та ймовірність загіпсовування іоніту.

3. Визначено напрямки переробки відпрацьованих регенераційних розчинів. Показано, що при обробці цих розчинів содою та лугом забезпечується ефективне пом'якшення елюатів, що забезпечує ефективну їх переробку електродіалізом з отриманням сірчаної кислоти та лугу придатних для використання в процесах водоочищення.

Список літератури: 1. Беличенко Ю.П. Замкнутые системы водообеспечения химических производств // Ю.П. Беличенко. – М.: Химия, 1990. – 208 с. 2. Гомеля И.Н. Оценка эффективности катионитов КУ-2-8 и Aqualite R-100 FC при умягчении воды в присутствии ионов железа / И.Н. Гомеля, Ю.А. Омельчук, В.М. Радовенчик // Экотехнологии и ресурсосбережение. –2008. – № 3. – С.62-65. 3. Голтвяницкая Е.В. Оценка эффективности использования слабокислотного катионита Dawex MAC-3 в катионном умягчении воды /Е.В.

Голтвяницкая, Т.А. Шаблій, Н.Д. Гомеля, С.С. Ставская // Вісник НТУУ «КПІ» Серія «Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження». – 2011. – № 2(8). – С. 87-92 4. Гомеля Н.Д. Кондиционирование воды для ресурсосберегающих систем водопользования / Н.Д. Гомеля, Т.А. Шаблій, Ю.В. Носачева // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 2009. – № 4 . – С. 55-58 5. Шаблій Т.А. Разработка эффективной технологии умягчения воды для промышленного водопотребления / Т.А. Шаблій, И.Н. Макаренко, Е.В. Голтвяницкая // Экотехнологии и ресурсосбережение. — 2010. – № 1 . – С. 53-58 6. О.В. Голтвяницкая Електродіалізне отримання сірчаної кислоти та лугу з розчинів сульфату натрію / О.В. Голтвяницкая, Т.О. Шаблій, М.Д. Гомеля // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2011. – № 3/6 (51). – С. 18-22

Поступила в редколлегию 15.06.2012

УДК 620.193.44–661–94

Г.О ТАТАРЧЕНКО, докт.техн.наук, доц., Технологический институт
Восточноукраинского национального университета им. В. Даля,
Северодонецк,
И.Н. ШАПОВАЛОВА, канд.техн. наук, доц., Технологический институт
Восточноукраинского национального университета им. В. Даля,
Северодонецк,
Н.Ф. ТЮПАЛО, акад. УТА, докт. хим. наук, Технологический институт
Восточноукраинского национального университета им. В. Даля,
Северодонецк,
А.Г. АРХИПОВ, докт.техн.наук, доц., Технологический институт
Восточноукраинского национального университета им. В. Даля,
Северодонецк

АДСОРБЦИЯ БЕНЗБЕНАЗОЛОВ В СЕРНОЙ КИСЛОТЕ

У статті проаналізовані адсорбційні властивості бензазолів в розчинах сульфатної кислоти середніх концентрацій і їх використання як інгібіторів кислотної корозії неіржавіючої сталі типу «12–18».

Ключові слова: адсорбція, бензазоли, сірчана кислота, корозія.

В статье проанализированы адсорбционные свойства бензбензазолов в растворах серной кислоты средних концентраций и их использование в качестве ингибиторов кислотной коррозии нержавеющей стали типа «12–18».

Ключевые слова: адсорбция, бензазолы, серная кислота, коррозия.

In the article adsorption properties of benzazolov in solutions of sulphuric acid of middle concentrations and their use are analyzed as inhibitors of acid corrosion of stainless steel of type «12–18».

Keywords: adsorption, benzazoly, sulphuric acid, corrosion.

1. Введение

В процессах синтеза органических соединений в кислых средах многие из них оказывают существенное влияние на коррозию металлов. При этом весьма часто наблюдается увеличение доли кислородной деполяризации в суммарной катодной реакции выделения водорода и восстановления кислорода, обуславливающей процесс коррозии. Обычно для гетероциклических

соединений, действующих только по блокировочному механизму доля кислородной деполяризации повышается при не слишком больших заполнениях поверхности [1]. Адсорбционное поведение на ртутном электроде ароматических и гетероциклических соединений, содержащих π -электронные связи исследовалось Бокрисом Дж. и Конуэйем Б., Фрумкиным А.Н., Антроповым Л.И. и Погребовой И.С., и многими другими авторами [2–6]. Выявлено, что бензазолы в зависимости от условий, могут проявлять свои свойства как активаторы или как ингибиторы коррозии. Характерное влияние на адсорбционное поведение органических веществ оказывает π - и n - электронное взаимодействие адсорбированных молекул с поверхностью электрода. Описанные в [2–6] исследования проводили в основном в слабокислых средах, тогда как технологические процессы получения, например, азолдикарбоновых кислот предусматривают наилучший выход продукции в растворах серных кислот средних концентраций, с начальной концентрацией бензбензазолов 1%–5% [7,8].

Цель работы – изучить адсорбционные характеристики бензазолов в растворах серной кислоты средних концентраций и влияние их на коррозию конструкционной нержавеющей стали.

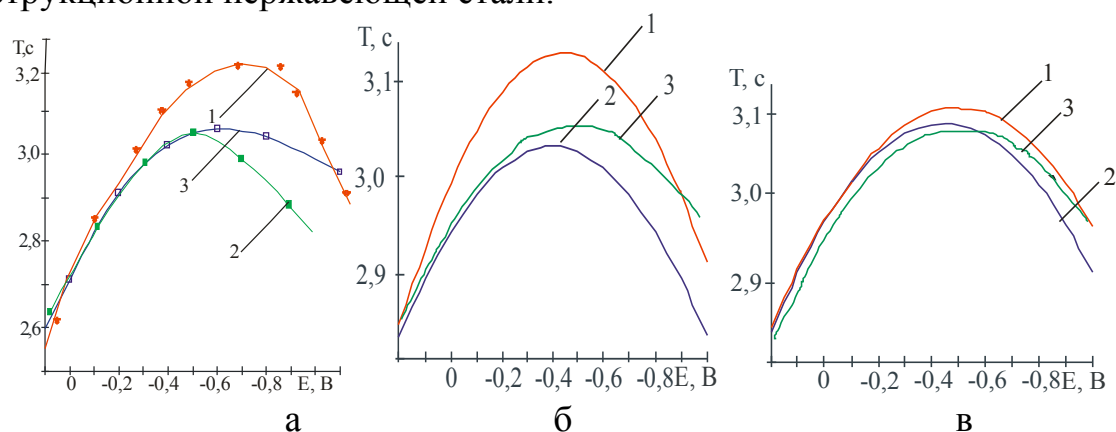


Рис.1. Электрокапиллярные кривые ртути в серной кислоте (кривые 1) разной концентрации с добавками 1%БИА (2), 1%БТА (3) $t=20^{\circ}\text{C}$; 20% H_2SO_4 ; б) 30% H_2SO_4 ; в) 40% H_2SO_4 .

2. Экспериментальная часть

Адсорбционные характеристики определяли на ртутном электроде в 20÷40%-ных растворах серной кислоты с добавлением 1% бензотриазол (БТА) и 1% бензимидазол (БИА), которые используются в производстве соответствующих азолдикарбоновых кислот. Электрокапиллярной характеристикой служил период капания ртути, определяемый с помощью электронного полярографа Р-1100 с параметрами электрода в воде $t_1=3,13$ с, $m=3,15$ мг/с. Электрод сравнения – каломельный.

Растворы деаэрировали, продувая очищенным азотом в течение 3 мин. Температура растворов 20, 40, 60°C поддерживалась при помощи термостата с точностью $\pm 1^{\circ}\text{C}$. Экспериментальные данные обрабатывались с использованием пакета "MAPLE –7". Коррозионно-электрохимические исследования проводились на примере

нержавеющей стали 12Х18Н10Т. Снимали поляризационные кривые (потенциостат П-5848) при скорости развертки 1,44 В/ч. Образцы готовили по стандартной методике и перед снятием поляризационных кривых их катодно

поляризовали в течение 3 мин. током плотностью $i=10 \text{ А/м}^2$. Электрод сравнения хлорсеребряный (значения пересчитаны относительно шкалы н.в.э.). Гравиметрические исследования проводили по стандартной методике по четырем пяти образцам подготовленным согласно ГОСТ 9.506-87; скорость коррозии определялась как средняя величина.

3. Результаты и их обсуждения

Исследования, проведенные на ртутном электроде в 20%÷40% -ных растворах серной кислоты с БИА и БТА, указывают на различные зависимости адсорбционных характеристик от потенциала электрода (рис. 1). Для фоновых растворов серной кислоты максимум адсорбционной кривой в 20%-ном растворе достигается при потенциале 0,68 В, в более крепких средах он смещается в сторону положительных потенциалов, что связано с увеличением числа анионов SO_4^{2-} , которые восстанавливаются на поверхности металла. Кроме того с ростом концентрации серной кислоты наблюдается снижение максимального периода капания ртути и за счет большей адсорбции анионов среды.

Введение органических добавок, таких как БИА или БТА, значительно изменяют форму фоновой адсорбционной кривой. В присутствии БИА (рис.1, кривые 2), адсорбция происходит на нисходящей ветви электрокапиллярной кривой (ЭКК), что соответствует адсорбции катионов БИА, в результате чего потенциал нулевого заряда E_0 БИА, соответствующий максимальному периоду капания, смещается в сторону положительных потенциалов. Максимальный период капания с ростом концентрации кислоты немного снижается за счет того, что активность воды в растворе становится ниже и снижается число протонированных молекул БИА.

Форма кривой адсорбции БТА говорит о преимущественном взаимодействии нейтральных молекул с поверхностью ртутного электрода, снижение поверхностного натяжения идет в широкой области потенциалов. Интересно, что потенциал нулевого заряда отрицательнее на 0,05В относительно фонового раствора, что указывает на наличие дополнительно адсорбирующихся анионов. Возможно это проявление π -электронного взаимодействия бензольного кольца молекул БТА и экранирование ими действия H^+ .

Константы ионизации БИА $\text{pK}_a=5,53$ и БТА $\text{pK}_a=0,4$ различаются почти на шесть порядков, поэтому в 20% H_2SO_4 БТА практически не протонирован и находится в основном состоянии [9]. Различие в константе ионизации сказывается в том, что кривые с БИА в области отрицательно заряженной поверхности не обнаруживают десорбции в отличие от кривых с БТА. Молекулам БТА (по сравнению с БИА) свойственна большая π – дефицитность, что характеризует его способность к π -d взаимодействию с поверхностью металла и образованию слоистой защитной пленки плоско ориентированных ароматических молекул. Тогда как молекулы БИА – протонированы и имеют четко выраженный локализованный положительный заряд и для них более вероятна перпендикулярная ориентация в адсорбционном слое, а также способность

восстанавливаться на поверхности отрицательно заряженного металла. Согласно проведенным нами ранее расчетам [10], известно, что дипольные моменты молекул БИА и БТА в основном состоянии различаются в полтора раза, в области максимума ЭКК.

В 30% H_2SO_4 БИА более поверхностно-активна при положительных потенциалах E , при $E > 0$ адсорбция БИА и БТА одинакова. В случае БТА с увеличением концентрации H_2SO_4 с 30% до 40% приводит к снижению пограничного натяжения, однако, в отличие от БИА, максимум ЭКК смещается в сторону более отрицательных потенциалов. В 40%-ной H_2SO_4 молекулы БТА адсорбируются больше, чем молекул БИА. Влияние молекул БИА в коррозионном процессе следует ожидать при отрицательном заряде электрода, тогда как БТА вблизи нулевого заряда ртути ($-0,21$ В) и при $E > 0$. Доминирующим фактором их адсорбции на электроде является π -электронное взаимодействие, поскольку молекулам БТА. Об этом свидетельствует большее адсорбционное насыщение с БТА, чем с БИА при увеличении в среде концентрации бензбензазолов от 0,1% до 5% и согласие с литературными данными для других сред [3–5]. За счет плоской ориентации адсорбированных молекул защитное действие БТА выше, чем БИА.

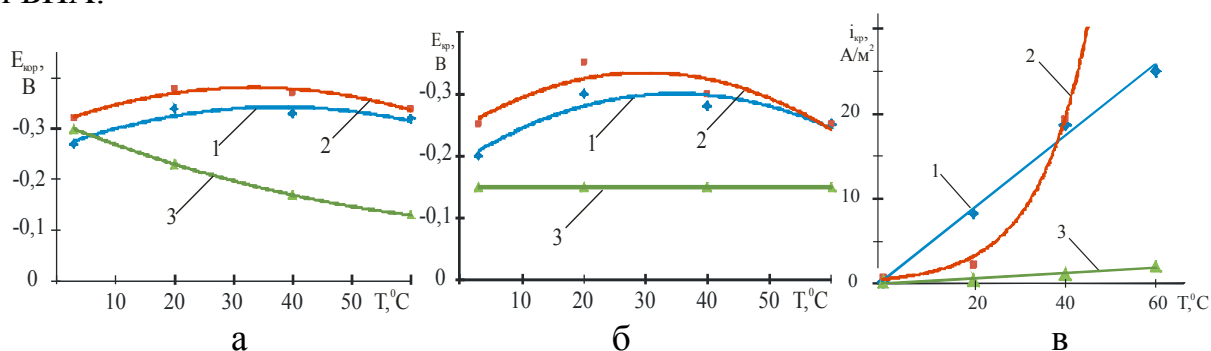


Рис.2. Электрохимические характеристики стали 12X18H10T в 20% H_2SO_4 (1) с добавками 1%БИА (2), 1%БТА (3): а) потенциал коррозии $E_{кор}$; б) критический потенциал $E_{кр}$; в) критические плотности токов $i_{кр}$.

С увеличением температуры до 40°C, 60°C характер электрокапиллярных кривых относительно фона не изменяется, но адсорбционная способность БИА и БТА снижается во всей области потенциалов. Скорость снижения максимального периода капания (в точке нулевого заряда) для БИА выше, чем для БТА, т.е. десорбция бензимидазола выше и свидетельствует о преимущественном молекулярном взаимодействии с поверхностью электрода.

Полученные адсорбционные характеристики хорошо согласуются с данными электрохимического поведения в растворах серной кислоты с добавками бензазолов нержавеющей стали 12X18H10T, которая широко используется в химической промышленности в качестве конструкционной. Исследования поляризационных кривых ($E - \lg i$) стали 12X18H10T в 20% H_2SO_4 , показали, что в присутствии в растворе БИА при температуре 40°C отсутствует область активного растворения. Хотя при температурах 20°C и 60°C появляется область активного растворения с дальнейшим образованием "катодной петли".

Введение БИА в 20% H_2SO_4 (рис.2, кривые 2) незначительно смещает потенциал коррозии $E_{кор}$ и критический потенциал $E_{кр}$ положительнее по сравнению с фоновым раствором (рис. 2 кривые 1), увеличивает критические токи коррозии $i_{кр}$, особенно, при температуре раствора выше $40^\circ C$.

Введение БТА (рис.2 кривые 3) с ростом температуры практически не изменяется $E_{кр}$, а $E_{кор}$ смещается к нулевому значению потенциала относительно н.в.э., что приводит к значительному снижению влияния ионов водорода на скорость коррозии нержавеющей стали 12X18H10T, т.е. растет доля катодного контроля с участием кислорода. В таблице приведены гравиметрические данные скорости коррозии стали в разных средах, откуда видно, что с участие БТА сталь является стойкой и может быть использована в столь агрессивной среде как 20%-ная серная кислота.

На электрохимическое поведение нержавеющей стали 12X18H10T в 30%-ной H_2SO_4 при повышенной температуре, также существенное влияние оказывает тип вводимой органической добавки. Так введение БИА в аэрируемые растворы при $t = 40^\circ C$ снижает критический ток пассивации до $i_{кр.} = 6,32 \cdot 10^{-3} \text{ A/cm}^2$ плотность тока растворения в пассивном состоянии до $i_{п.} = 4,31 \cdot 10^{-5} \text{ A/cm}^2$. При увеличении температуры до $60^\circ C$ (рис.3) отрицательное влияние БИА нарастает и характеризуется в увеличением плотности токов растворения. Влияние БТА на электрохимическое поведение стали 12X18H10T в тех же коррозионных условиях

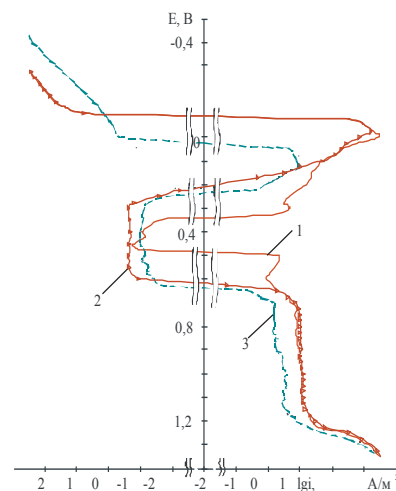


Рис.3. Поляризационные кривые стали 12X18H10T в 30% H_2SO_4 (кривая 1) $t = 60^\circ C$ и с добавками 2 – 1% БИА; 3 – 1% БТА

(рис.3) отличается степенью защиты. Так при 40 и $60^\circ C$ с введением БТА $i_{п.кр.}$ уменьшается по сравнению с фоновыми растворами в 945 раз, $i_{п.}$ уменьшается – в 2,5 раза.

Таблица- Скорости коррозии стали 12X18H10T при $t=20^\circ C$

N п/п	Среды	К, мм/год
		аэрируемые
1	20% H_2SO_4	4,330
2	20% H_2SO_4 + 1% БИА	2,850
3	20% H_2SO_4 + 1% БТА	0,010
4	20% H_2SO_4 + 5% БИА	0,006

В присутствие БТА на поляризационных кривых заметно сужается площадь анодной петли и увеличивается область пассивного состояния стали. Лучшее защитное действие молекул БТА, чем БИА объясняется их адсорбционными свойствами. С увеличением температуры потенциал коррозии сдвигается в сторону положительных значений и, согласно полученным электрокапиллярным кривым, молекулы БИА десорбируются с поверхности металла, тормозящее действие БИА прекращается, и процесс растворения стали 12X18H10T идет

практически с той же скоростью, что и в чистом растворе — анодные поляризационные кривые в области высоких анодных токов совпадают. В то время как БТА при незначительном положительном заряде поверхности могут адсорбироваться, замедляя коррозионный процесс.

При высокой температуре протонированная форма БТА оказывает меньшее ингибирующее воздействие на металл, больше влияет хемадсорбция, которая сравнительно невелика, снижается общее положительное влияние, скорость коррозии увеличивается по сравнению с растворами с БТА.

4. Выводы

Адсорбционные, гравиметрические и электрохимические исследования стали 12Х18Н10Т в растворах серной кислоты средних концентраций выявили, что:

- бензотриазол является ингибитором смешанного типа. При положительной поляризации электрода и нулевом заряде молекулы адсорбируются на поверхности металлов π – зарядом кольца. При увеличении температуры ингибирующее действие бензотриазола снижается, в большей степени за счет теплового движения молекул, в результате чего повышается доля кислородной деполяризации;

- бензимидазол является ингибитором анодных процессов из-за его протонизации и высокого дипольного момента, он эффективнее действует при отрицательной поляризации электрода или на металлы с большим числом катодных участков. Константа ионизации БИА намного выше и потому при отрицательном заряде электрода он в отличие от БТА не десорбируется. По этой же причине с повышением концентрации кислоты локализованный положительный заряд в молекуле БИА усиливает ее отталкивание от положительно заряженного электрода и сближается с фоновой электрокапиллярной кривой.

- Увеличение температуры сред существенно снижает адсорбционную способность бензимидазола, за счет теплового движения молекул и активации восстанавливающей способности молекул.

- Можно рекомендовать нержавеющую сталь типа «12–18» как коррозионно–стойкую в растворах серной кислоты средних концентраций в присутствии бензотриазола в качестве ингибитора. Следует отметить возможность применения анодной защиты к данной стали в растворах с бензимидазолом.

Список литературы: 1. Антропов Л.И. Формальная теория действия органических соединений на электродах. // ЗМ. – 1977. Т.13. – № 4. – С. 387. 2. Волошин В.Ф. Строение и ингибирующее действие производных бензимидазола / В.Ф. Волошин, О.П. Голосова, Л.А. Мазалевская // Защита металлов. – 1988. – Т.24. – С.665–666. 3. Маковей Г.Л. Влияние производных бензимидазола на коррозионно–электрохимическое поведение железа / Г.Л. Маковей, И.Н. Курмакова, Л.Д. Керись // Защита металлов. – 1985. – Т.21. – С.632–635. 4. Червинская А.Ю. Ингибирование кислотной коррозии сталей замещенными бензимидазолами различного строения / А.Ю. Червинская, А.Б. Шеин, А.Н. Вдовиченко [и др] // Защита металлов. – 1990. – Т.26. – С.665–667. 5. Погребова И.С. Каталитическое выделение водорода на цинке в присутствии бензотриазола и его подавление ионами кальция / И.С. Погребова, Л.И. Антропов, А.А. Бабич [и др] // Электрохимия. – 1990. – Т.26. – №6. – С.825–829. 6. Антропов Л.И. Связь между адсорбцией органических соединений и их влияние на коррозию металлов в кислых

средах / Л.И. Антропов, И.С. Погребова // Итоги науки и техники. – М. –1973 . –Серия коррозия и защита от коррозии. – Т.2. –С. 27–112. **7.** Тюпало Н.Ф. Реакции гетаренов с озоном: дисс. докт. хим. наук: 05.17.05 / Тюпало Николай Федорович. – М., 1987. – 212 с. **8.** Степанян А.А. Окисление бензбензозолов озоном: дис. канд. хим. наук: 05.17.05 / Степанян Агасий Агасиевич. –М.–1983.–128 с. **9.** Физические методы в химии гетероароматических соединений. / Под ред. А.Р. Катрицкого –М.: –Л. – Химия. –1966. – 656 с. **10.** Татарченко Г.О. Электронные плотности и адсорбционные свойства пиридин–N–оксидов в уксуснокислом растворе. / Г.О. Татарченко, И.Н. Шаповалова, А.Л. Бродский, Н.Ф.Тюпало//Вісник Східноукраїнського національного університету ім. Володимира Даля", 2007. –№5(111). – Ч.2. – С. 114–118.

Поступила в редколлегию 12.06.2012

УДК 628.03

Я.В. РАДОВЕНЧИК, м.н.с., НТУУ «КПІ», Київ,

В. М. РАДОВЕНЧИК, докт. техн. наук, проф., НТУУ «КПІ», Київ

ВИКОРИСТАННЯ МАТЕРІАЛІВ З КАПІЛЯРНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ ДЛЯ РОЗДІЛЕННЯ ВОДИ ТА НАФТОПОДУКТІВ

В роботі представлені результати досліджень процесів видалення нафтопродуктів з водного середовища за допомогою матеріалів з капілярними властивостями. На прикладі системи бензин-вода досліджено ряд капілярних матеріалів. Запропоновано схему капілярного фільтру для розділення нафтопродуктів та води.

Ключові слова: капілярний фільтр, нафтопродукти, розділення, очищення води.

В работе представлены результаты исследований процессов удаления нефтепродуктов из водной среды с помощью материалов с капиллярными свойствами. На примере системы бензин-вода исследовано ряд капиллярных материалов. Предложено схему капиллярного фильтра для разделения нефтепродуктов и воды.

Ключевые слова: капиллярный фильтр, нефтепродукты, разделение, очистка воды.

The results of researches of petrochemical removal processes from water using materials with capillary properties are presented in this article. The group of capillary materials was investigated based on gasoline-water system. New capillary filter scheme for petrochemical and water separation was proposed.

Keywords: capillary filter, petrochemical, separation, water treatment.

1. Вступ

На сьогоднішній день нафтопереробна галузь є однією з найбільш розвинених галузей хімічної промисловості. З кожним роком зростають об'єми видобутку нафти, що зумовлене інтенсивним збільшенням споживання різноманітних нафтопродуктів. В свою чергу, використання значної кількості продуктів переробки нафти супроводжується серйозним забрудненням навколишнього середовища. Найбільшого негативного впливу зазнає гідросфера. Періодичні аварійні скиди нафти в водні об'єкти призводять до катастрофічних наслідків для флори та фауни, що на десятиліття змінює стан природних екосистем. При цьому негативним фактором є не лише розчинення органічних речовин у водному середовищі, а й накопичення їх на поверхні чи на дні та утворення високодисперсних емульсій в товщі водного масиву. Від такого виду забруднення потерпають всі мешканці гідросфери та споживачі води, починаючи від найпростіших і закінчуючи людиною [1]. Відсутність ефективних, досконалих, а головне – малозатратних методів та технологій видалення нерозчинених нафтопродуктів з водного середовища є досить гострою проблемою. Тому розробка нових методів представляє сьогодні досить важливий

напрямок не лише в технологіях очищення стічних вод та очищення гідросфери, а й в інших галузях промисловості – хімічній, харчовій, нафтопереробній та інших.

Найбільш поширені на сьогодні технології відділення нафти та нафтопродуктів від води базуються, перш за все, на сорбційних методах, котрі є досить дорогими. Крім цього, необхідно завчасно отримувати чи готувати сорбент, що також пов'язано із додатковими затратами. Найбільш негативною стороною таких методів є утворення величезної кількості вологого осаду, що представляє собою нафтопродукти, сорбовані на поверхні матеріалу. Знешкодження такого осаду представляє досить серйозну проблему. Більш простими є технології з використанням нафто- та жироловлівачів, однак їх ефективність на сьогодні ще досить низька та не відповідає сучасним вимогам. Тому висока ефективність та низька вартість на сьогодні залишаються невирішеною частиною наукової проблеми розділення нафтопродуктів та води.

2. Мета досліджень

Метою наших досліджень є вивчення процесів відділення нафтопродуктів від води за допомогою нового методу – використання матеріалів з капілярними властивостями. Такий метод є досить перспективним з точки зору ефективності та економічних показників. Всі дослідження проводилися при розділенні системи бензин-вода.

3. Викладення основного матеріалу

Застосування даного методу відділення нафтопродуктів від води базується на використанні капілярного ефекту – явища руху рідини в тонких капілярах. Для практичної реалізації такого методу використовується спеціальний капілярний фільтр [2], зображений на рис. 1.

В залежності від характеристик кожної з рідин, а також параметрів матеріалу, з якого виготовлено капілярний фільтр, одна з рідин буде накопичуватися в ємкості. Інша рідина буде поглинатися матеріалом капілярного фільтру та по порах, під дією сил поверхневого натягу та сили земного тяжіння, відводитися за межі ємкості і накопичуватися в іншій посудині. Ефективність розділення залежить від взаємного впливу як характеристик рідин, так і характеристик матеріалу з капілярними властивостями. Оскільки для успішної реалізації такого принципу розділення рідин необхідною умовою є насичення пор капілярного фільтру органічною фазою, то цілком зрозуміло, що залишкові концентрації органічної фази не можуть бути нижчими рівня її розчинності у воді. Тому розроблений метод придатний для видалення лише нафтопродуктів, що розлиті на поверхні водного середовища чи акумульовані на дні, або перебувають в товщі води у вигляді окремих крапель. Для видалення розчинених у воді речовин даний метод непридатний.

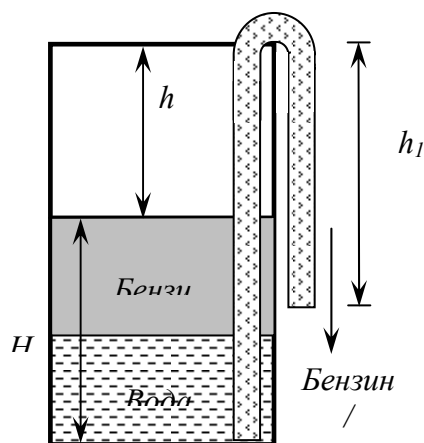


Рис.1. Схема капілярного фільтру для розділення бензину та води

Для досліджень нами було відібрано чотири зразки матеріалів, що виробляються в промислових об'ємах – бавовна, льон, штучний шовк, ацетатна фільтрувальна тканина. Із стрічок однакової ширини для різних матеріалів формували джгути однакової товщини та прямокутного перерізу. Поперечний переріз такого джгута складає 20×3 мм, а параметр Δh ($\Delta h = h_1 - h$) становить 2.5, 5.0 та 7.5 см. Співвідношення фаз підтримували постійним (1:1).

В однакових умовах визначали об'єм води, що за визначений період часу транспортується за межі посудини із початковою рідиною. Результати експериментів приведені на рис. 2. Як видно із приведених графіків, найбільшу продуктивність в даних умовах забезпечує капілярний фільтр із ацетатної тканини, найменшу – із бавовни. При цьому продуктивність ацетатної тканини майже у 2 рази вища від продуктивності бавовни. Льон та штучний шовк займають проміжне значення.

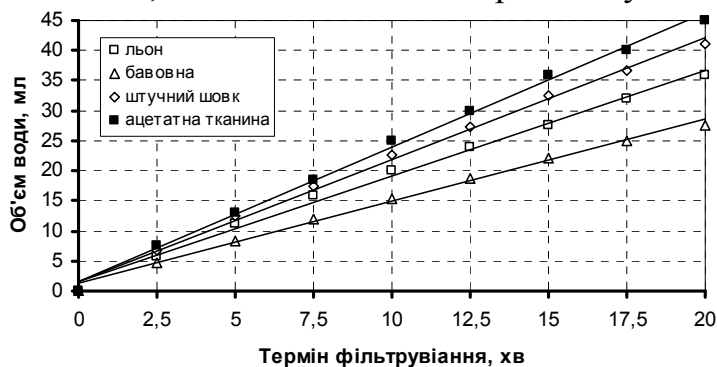


Рис. 2. Зміна продуктивності капілярних фільтрів при транспортуванні води в залежності від матеріалу пористого середовища

Враховуючи отримані при дослідженні транспортування води результати, нами було підібрано ефективні матеріали з капілярними властивостями для системи *бензин – вода*. Бензин має щільність, меншу ніж у води, та майже нерозчинний в ній. Тому при змішуванні з водою бензин спливає на поверхню. Значення коефіцієнту кінетичної в'язкості для бензину складає 0,0093 Ст в порівнянні із відповідним параметром для води 0,0101 Ст [3]. Як видно із рис. 3, швидкість транспортування бензину для деяких тканин при їх попередньому змочуванні у бензині навіть більша, ніж для води (рис. 2). Найкращі властивості з точки зору транспортування бензину показала бавовна, найгірші – штучний шовк.

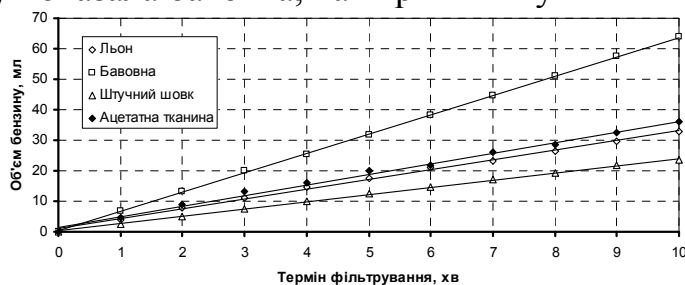


Рис. 3. Зміна продуктивності капілярних фільтрів при транспортуванні бензину в залежності від матеріалу пористого середовища

Льон та ацетатна тканина займають проміжне положення в цьому ряду і по продуктивності мало відрізняються від результатів, отриманих при транспортуванні води. Для подальших досліджень ми відібрали бавовну, як природний матеріал, що показав найкращі результати при транспортуванні бензину, та ацетатну тканину в якості матеріалу з найкращими показниками серед штучних матеріалів.

При попередньому змочуванні бавовни у бензині вона зберігає високі капілярні властивості і у присутності води (рис. 4). Проведені досліди по

розділенню суміші *бензин – вода* при різних різницях рівнів (Δh) показали, що в таких умовах забезпечується відбір із суміші лише бензину. Навіть після відбору всього бензину вода через капілярний фільтр не перетікає. При цьому із збільшенням різниці рівнів інтенсивність перетікання бензину зростає.

При попередньому змочуванні капілярного фільтру із бавовни у воді та розміщенні його в суміш бензину та води спостерігається транспортування води.

Причому, інтенсивність дуже незначна навіть при мінімальній різниці рівнів (рис. 5). Важливим є той факт, що після повного висихання води капілярний фільтр починає транспортувати бензин.

Таким чином, використовуючи капілярний фільтр, попередньо змочений бензином, можна успішно розділяти на складові систему *бензин – вода*.

Вивчення ефективності розділення системи *бензин – вода* капілярними фільтрами з ацетатної тканини також проводили при попередньому змочуванні фільтрів водою та бензином. При попередньому змочуванні бензином продуктивність капілярних фільтрів не набагато нижча за продуктивність фільтрів із бавовни (рис. 6).

Важливим є те, що після відділення всього бензину транспортування води за межі посудини не спостерігається. В той же час, при попередньому змочуванні капілярного фільтру водою транспортується суміш бензину та води. При цьому співвідношення між компонентами в значній мірі залежить від різниці рівнів Δh . Так, якщо при $\Delta h=0,75H$ співвідношення *вода:бензин* складає 1:8, то при $\Delta h=0,25H$ воно зменшується до 1:90.

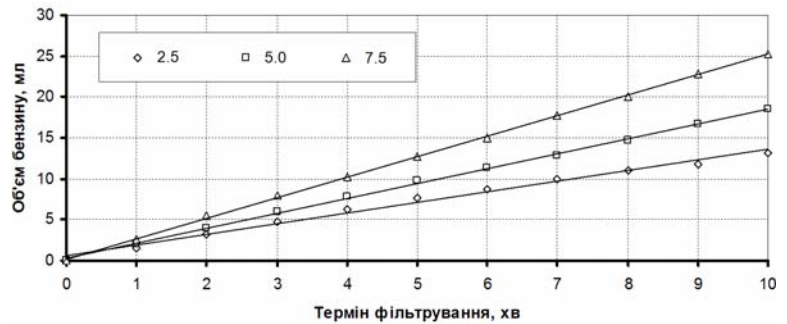


Рис. 4. Зміна продуктивності капілярних фільтрів із бавовни при транспортуванні бензину в залежності від різниці рівнів Δh (фільтри змочені у бензині)

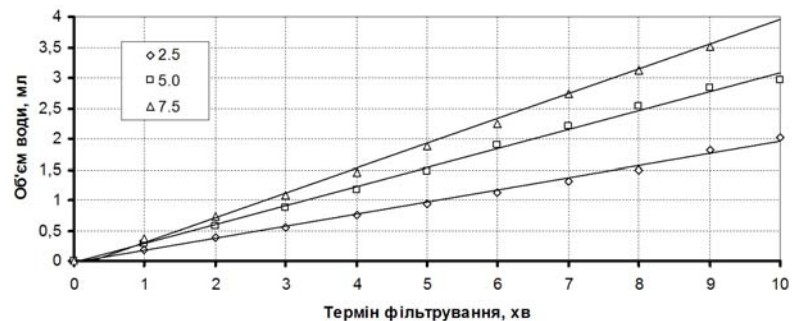


Рис. 5. Зміна продуктивності капілярних фільтрів із бавовни при транспортуванні води в залежності від різниці рівнів Δh (фільтри змочені у воді)

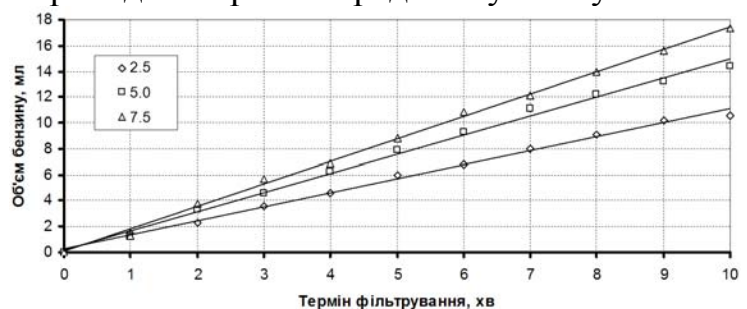


Рис. 6. Зміна продуктивності капілярних фільтрів із ацетатної тканини при транспортуванні бензину в залежності від різниці рівнів Δh (фільтри змочені у бензині)

Оскільки в динамічних умовах досить важко підтримувати постійним рівень обох рідин в посудині, то більш прийнятним видається попереднє змочування тканини капілярного фільтру у бензині, що забезпечить відбір лише однієї складової та ефективне розділення початкової суміші.

Для збору органічних речовин, зокрема бензину, що знаходяться на поверхні водного середовища при їх незначній кількості, нами розроблено спеціальну конструкцію плаваючого капілярного фільтру (рис. 7) [4]. Основним елементом установки є приймальна лійка 3, в якій встановлені капілярні фільтри 1 із матеріалу, що достатньо ефективно розділяє органічну та водну фази. Для стабілізації процесу розділення та підтримання постійним параметра h додатково, в залежності від характеристик розчину та об'єму лійки, встановлюється поплавок чи вантаж 2. Відібраний бензин гнучким шлангом 4 через патрубок 5 виводиться за межі ємкості 6. Очищена вода виводиться за межі ємкості окремим патрубком. Така система може працювати в безперервному режимі, вона не критична до змін рівня води в ємкості, не вимагає складного обслуговування або використання будь-яких реагентів.

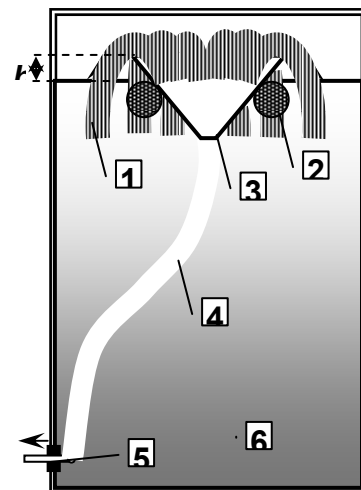


Рис. 7. Схема плаваючого капілярного фільтру: 1 – капілярні фільтри; 2 – поплавок чи вантаж; 3 – приймальна лійка; 4 – гнучкий шланг; 5 – вихідний патрубок; 6 – ємкість із забрудненою водою

Висновки

Отримані в результаті проведених досліджень данні дають змогу стверджувати про перспективність використання матеріалів з капілярними властивостями для розділення органічних рідин, що не змішуються, зокрема нафтопродуктів. Представлені залежності дозволяють ефективно підібрати матеріали з капілярними властивостями та розрахувати параметри процесу відділення нафтопродуктів від води. Використання запропонованого методу розділення бензину і води дозволяє створювати прості, ефективні та економічні установки. Перевагами таких установок є те, що вони не вимагають використання жодних додаткових реагентів, працюють без споживання електроенергії, досить прості в розробці та експлуатації.

Список літератури: 1. Стахов Е. А. Очистка нефтесодержащих сточных вод предприятий хранения и транспорта нефтепродуктов. – Л.: Недра, 1983. – 263 с. 2. Радовенчик Я. В. Эффективный способ разделения жидкостей, которые не смешиваются / Я. В. Радовенчик, В. С. Котлярова, В. Ю. Черняк // Збірн. тез XIV Міжнар. наук. – практ. конф. студентів, аспірантів та молодих вчених "Екологія. Людина. Суспільство". – Київ. – 2011. – С. 66. 3. Вильнер Я.М., Ковалев Я.Т., Некрасов Б.Б. Справочное пособие по гидравлике, гидромашинам и гидроприводам. Под ред. Б.Б.Некрасова. – Минск, "Высшейш. школа", 1976. – 416 с. 4. Пат. № 37373 Україна, МКП (2006) В 01 D 33/04. Капілярний фільтр / В. М. Радовенчик, Я. В. Радовенчик, М. Д. Гомеля.; заявник і власник патенту – НТУУ "КПІ" – №200807989; заявл. 12.06.2008; опубл. 25.11.2008, Бюл. №22.

Поступила в редколлегию 25.06.2012

УДК 614.89:537.868

Н.П.КУНДЕНКО, канд.техн.наук,доц., ХНТУСХ, Харьков

ИССЛЕДОВАНИЯ КРИОКОНСЕРВАЦИИ МИКРООБЪЕКТОВ КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА

Проведені експериментальні дослідження дії акустичних коливань на ембріони з метою підвищення їх стійкості до низьких температур і підвищення життєздатності отриманого потомства ВРХ

Ключові слова: кювета, акустичні коливання, температура, життєздатність.

Проведены экспериментальные исследования воздействие акустических колебаний на эмбрионы с целью повышения их устойчивости к низким температурам и повышения жизнеспособность полученного потомства КРС.

Ключевые слова: кювета, акустические колебания, температура, жизнеспособность .

Pilot studies impact of acoustic fluctuations on embryos for the purpose of increase of their stability to low temperatures and increases viability of the received posterity of KRS are carried out.

Keywords: ditch, acoustic fluctuations, temperature, viability.

1. Введение

Процессы замораживания и последующего отогрева могут оказывать сильное повреждающее действие на биологические объекты (спермии, эмбрионы и т.п.). Основными факторами влияющими на степень повреждения структуры биологических объектов являются: величина кристаллов льда, продолжительность пребывания клеток в гипертонических средах, внутриклеточная кристаллизация, обезвоживание клеток, рекристаллизация, агрегация и денатурация клеточных белков [1,2]. В результате влияния всех этих факторов у клеток возникают первичные криоповреждения, также, как изменение формы, объёма, нарушение целостности мембраны, изменение конформации макромолекул и др. Такие первичные криоповреждения могут стать причиной вторичных повреждений, развивающихся в клетках в различное время после размораживания. В этой связи важной проблемой является всестороннее изучение возможностей увеличения криорезистивности биологических объектов и поиск способов дополнительной криозащиты их структур

Цель исследований: определение параметров низко- интенсивных акустических колебаний для воздействия на микрообъекты КРС перед их криоконсервацией, которые обеспечивали бы устойчивость микрообъектов к низким температурам и повышали их оплодотворяемость после размораживания.

2. Основные материалы исследования

Для повышения устойчивости спермиев к температурному шоку в качестве криозащитного вещества в сперму добавляют желток куриного яйца. Желток куриного яйца содержит лецитин и липопроотеины. Они создают на поверхности спермиев адсорбирующий слой, предохраняющий спермии от холодового шока, который действует на жизнедеятельность спермиев до температуры -51°C , то есть пока в сперме сохраняется жидкая фаза. Для защиты спермиев от холодового

удара применяют лактозо-желточную среду следующего состава: вода дистиллированная – 100 мл; лактоза – 11,5 г; желток – куриного яйца – 20 мл; глицерин – 5 мл.

Разбавленную сперму (температура $31 \pm 1,8^{\circ}\text{C}$) охлаждают при $2,5^{\circ}\text{C}$ в течение 4 ч и замораживают до минус 80°C на фторопластовых пластинках с лунками в специальных емкостях, заполненных жидким азотом. Наносят сперму на охлажденную пластину с помощью охлажденных шприцев или полиэтиленовой капельницы. После выдержки пластины в течение 1...2 мин над жидким азотом и затем в жидком азоте 10...15 мин, пластину поднимают до верхнего уровня емкости, охлажденной лопаткой, сгребают гранулы в охлажденный контейнер или марлевый мешочек и хранят их до момента использования.

Оттаять замороженную сперму нужно быстро, чтобы не образовались кристаллы, которые, как указывалось, губительно действуют на спермии. Для оттаивания спермы необходима водяная баня и специальный разбавитель. Последний представляет собой разбавитель, который применяется для хранения спермы при температуре $2...5^{\circ}\text{C}$, но замороженный в форме гранул на фторопластовой пластине объемом 0,4...0,5 мл. Этот разбавитель можно долго хранить, и он лучше защищает сперму после оттаивания от неблагоприятных факторов внешней среды. Желточный разбавитель нужно оттаивать также быстро, как и сперму (при температуре $+38...40^{\circ}\text{C}$), чтобы он не потерял своих защитных свойств.

Методика оттаивания спермы в желточном растворе состоит в следующем:

- в водяной бане, имеющей температуру $45...50^{\circ}\text{C}$, помещают сухой, стерильный, пенициллиновый флакон (больше 50°C нельзя, иначе желток свернется);
- после нагревания флакона до температуры $42...23^{\circ}\text{C}$, в него помещают 2...3 гранулы желточного разбавителя (чтобы объем среды был 0,8...1,0 мл);
- как только сперма оттаяет – немедленно использовать.

Для определения концентрации спермиев был применен фотоэлектроколориметрический метод. В качестве фотоэлектроколориметра был использован прибор ФЭК-Н.

Принцип работы этого прибора основан на том, что через кювету со спермой пропускают пучок световых лучей определенной силы, который затем попадает на селеновый фотоэлемент, соединенный с гальванометром. Через гальванометр проходит электрический ток, величина которого обратно пропорциональна мутности (оптической плотности) спермы, т.е. концентрации спермиев.

Для проведения исследования приготавливают 3,5%-ный раствор лимоннокислого натрия на дистиллированной воде, фильтруют его через бумажный фильтр и разливают в хорошо вымытые и просушенные флаконы из под пенициллина по 9,9 мл в каждый флакон. Микропипеткой набирают точно 0,1 мл исследуемой спермы и смешивают ее с раствором лимоннокислого натрия в одном из флаконов, разбавляя таким образом сперму в 100 раз.

Подобная методика пользования фотоэлектроколориметром излагается в руководстве, прилагаемом к прибору, и в инструкции по организации и

технологии работы станций по искусственному осеменению сельскохозяйственных животных.

Для контроля и оценки степени влияния акустических колебаний на жизнедеятельность спермиев до замораживания и после размораживания была использована оптико-электронная система[3].

В состав оптико-электронной системы входят следующие элементы и блоки: микроскоп Р-11; термостатирующий столик; ПЗС матрица типа К 1200 ЦМ7 (число ячеек 260х380); блок сопряжения и синхронизации; телекамера КТ-5; персональный компьютер (процессор Inter Core 2 Duo E6550); видеокарта NVIDIA GeForce 8800GT; винчестер Seagate ST325 256 Gb; материнская плата Asus P5k; накопитель со сменным носителем ASUS DRW-1612BL; монитор 172Т; операционная система Windows XP SP3.

В работе оптико-электронной системы заложен принцип дифференциального анализа различных сведений об эякуляте (концентрация, скорость движения, интенсивность вращения) и получения интегрального показателя коррелирующего с оплодотворяемостью.

Значения оптимальных параметров низкоинтенсивных акустических колебаний (частота, мощность, экспозиция), для воздействия на гранулы с микрообъектами животных перед их криоконсервацией, были определены на основе многофакторного эксперимента, в котором в качестве отклика облученных спермиев была взята величина сдвига резонансной частоты измерительного резонатора с микрообъектами животных в гранулах (диаметр 5мм, высота 3мм) относительно резонансной частоты (74,280ГГц) опорного резонатора.

В эксперименте был использован источник акустических колебаний SMB-17CC с техническими характеристиками: диапазон частот 0,325кГц – 2,250кГц; диапазон изменения мощности 50дБ – 80дБ; величина источника питания 1,5 -15В; величина тока питания 0,2 – 1,4мА.

Значения факторов и их интервалы варьирования наведены в табл.1 и 2.

Таблица 1 - Значения факторов в эксперименте

Интервал и уровень факторов	Частота, кГц	мощность, мкВт	Экспозиция, с
	x_1	x_2	x_3
Нулевой уровень – $x_i = 0$	1,4	1,0	300
Интервал варьирования – λ_i	0,5	0,2	100
Верхний уровень – $x_i = +1$	1,9	1,1	400
Нижний уровень – $x_i = -1$	0,9	0,9	200

Таблица 2 - Данные для построения плана второго порядка

Число факторов, K	Число точек ядра	Число звездных точек, N_a	Число нулевых точек, N_0	Звездные точки, a	Число опытов, N
3	8	6	6	1,682	20

После проведения изменений и расчетов получено уравнение регрессии

$$Y = 9,3 + 4,6x_1 + 2,5x_2 + 2,24x_3 + 4,4x_1x_2 + 5,4x_1x_3 + 2,4x_2x_3 + 4,4x_1^2 + 0,9x_2^2 + 3,4x_3^2, \quad (1)$$

Где Y- разность частот между измерительным и опорным резонаторами;

x_1 – частота акустических колебаний; x_2 – мощность акустических колебаний; x_3 – время облучения микрообъектов животных.

Проверка значимости коэффициентов регрессии проводилась при уровне значимости $\alpha = 0,01$ по критерию Стьюдента [4, 5]. Все коэффициенты в уравнении (1) оказались значимыми.

На основании проверки данного уравнения на адекватности по критерию Фишера [4] сделан вывод, что уравнения описывает реальный процесс, и, следовательно, позволяет оценить характер влияния каждого из 3 факторов на функцию отклика. Кроме того, стало возможным практическое использование полученной модели для прогнозирования значения выходного сигнала области варьирования параметров x_i . Для нахождения оптимальных параметров процесса решена система уравнений, полученных приравниванием к нулю значений градиентов компонентов, вычисленных по выражению:

$$\frac{\partial Y}{\partial x_i} = b_i + 2b_{ii}x_i + \sum_{j=1}^n b_{ij}x_j = 0 \quad (2)$$

где x_i, x_j – кодированное значение фактора, по которому берется производная, и взаимодействующего с ним, соответственно; b_i, b_{ii}, b_{ij} – коэффициенты уравнения регрессии.

Для уравнения (1) после дифференцирования была получена система уравнений:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial y}{\partial x_1} = 4,64 + 4,4x_2 + 5,4x_3 + 8,8x_1 = 0 \\ \frac{\partial y}{\partial x_2} = 2,5 + 4,4x_1 + 2,4x_3 + 1,8x_2 = 0 \\ \frac{\partial y}{\partial x_3} = 2,24 + 5,4x_1 + 2,4x_2 + 6,8x_3 = 0 \end{array} \right. \quad (3)$$

В результате решения системы уравнений (3) были получены следующие значения фактора в экстремально точке $x_1 = -0.8$; $x_2 = 0.3$; $x_3 = 0.2$, что соответствует таким значениям натуральных параметров: частота акустических колебаний 1 кГц, мощность 1,03 мВт; время воздействия на микрообъекты животных 320 с.

В лабораторном эксперименте использовали гранулы с 6 млн спермиев, которые подвергались до криоконсервации воздействию акустическими колебаниями с параметрами: частота 1 кГц; мощность 1 мВт; экспозиция 320 с. В контроле гранулы со спермиями акустическими колебаниями не обрабатывались. После криообработки и оттаивания гранул проводили исследования на оптико-электронной системе по определению живых спермиев. Результаты исследований приведены в табл. 3.

Результаты измерений (табл.3) показали, что обработка гранул со спермиями акустическими колебаниями приводит к увеличению толщины защитного слоя на плазматической мембране и устойчивости спермиев к низким температурам. Процент выхода живых спермиев в опыте составил около 80%, а в контроле всего 30%.

Таблица 3 - Результаты исследований спермием после их криоконсервации

	Повторности	Кол-во животных	Средние кол-во животных спермиев
Опыт	1	5100000	5095000
	2	5080000	
	3	5110000	
	4	5090000	
Контроль	1	1740000	1740000
	2	1680000	
	3	1800000	
	4	1740000	

Производственные испытания с микрообъектами КРС, облученных акустическими колебаниями, были проведены в хозяйстве «Колос» Волчанского района под руководством сотрудников управления ветеринарной медицины этого района.

Из анализа полученных данных следует, что в опыте родилось на 57,7% телят больше чем в контроле, а вес новорожденных телят в опыте превосходил контрольных на 5...6 кг. Также установлено, что время вставания на ноги в опытной группе составляло 24...26 мин, а в контрольной 40...42 мин.

Важным показателем жизнеспособности новорожденных телят является снижение веса первые 3...6 дней после рождения. В ходе эксперимента было выявлено, что потери массы тела на одного теленка в первые 5 дней жизни составили 1,5 % для опытной группы и 5,8 % для контрольной. Специалистами ветеринарной медицины были зарегистрированы случаи болезни телят кишечно-желудочными и легочными заболеваниями. Заболеваемость телят в опытной группе составила 10,2 %, а в контрольной 44 %. Смертность телят после 20 дней жизни составила в контрольной группе 36,8 %, а в опытной выжили все телята.

В результате производственного эксперимента было установлено, что прибыль от внедрения акустической технологии в данном хозяйстве составила 57 тыс. грн.

3. Выводы

Производственный опыт с эмбрионами животных показал, что воздействие акустических колебаний на эмбрионы повышает их устойчивость к низким температурам и повышает жизнеспособность полученного потомства КРС. В результате производственного эксперимента с эмбрионами было установлено, что прибыль от внедрения акустической технологии составила 35,7 тыс. грн.

Список литературы: 1. *Stephens R.J., Hart C.P., Torbit C.A., Edmonds P.D.* Responsible subcellular alteration on heratocytes resuling from ultrasound. *Ultrasound in Med. Biol.*, 1980, v.6, №3, p. 239-249/ 2. *Webster D.F., Pond G.B., Dyson M., Harvey W.* Role of cavitation in the “in victro” stimulation of protein synthesis in human fibroblasts. *Ultrasound in Med. Biol.*, 1978, v.4, №4, p. 343-351. 3. *Сасимова И.А.* Обоснование оптико-электронной системы для оценки степени влияния ЭМП на эмбрионы животных / *И.А. Сасимова, Ю.Е. Мегель* // *Общегосударственных научно-производственный журнал. Энергосбережение. Энергетика, Энергоаудит.* – 2008. – № 9. – С. 18 – 24. 4. *Богданович А. И.* Расчеты в планировании экспериментов / *А.И. Богданович* – Л.: ЛТА, 1978. – 10 с. 5. *Винарский М. С.* Планирование эксперимента в технологических исследованиях / *М. С. Винарский.* – К.: Техника, 1975. – 168 с.

Поступила в редколлегию 12.06.2012

ЗМІСТ

Г.Б. Филимонихин, В.В. Гончаров Устойчивость основных движений системы ротор – корпус на податливых опорах – автобалансир: получение характеристического уравнения	3
Ю.А.Митиков, С.А. Куда Оптимизация скорости ввода горячего гелия в бак с кислородом	9
О.А. Ляшенко, Н.Ю. Наumenко, Л.В. Новикова Анализ основных аспектов задачи оптимизации стержневых конструкций с учётом общей и локальной коррозии. Часть 1. Постановка задачи и проблемы, вызванные наличием двух расчётных схем	17
И.В.Смородская, Н.В.Горбатюк Выбор рационального схемного решения системы приводов	26
О.А. Матвієнко Дослідження міцності лопасті осьового робочого колеса заглибного свердловинного насоса	29
Г.Б. Філімоніхін, А.Ю. Невдаха Апробації технології складання РОТОРІВ ГТД БДТ за методом двох пробних складань із застосуванням 3d моделювання	34
В. В. Артемчук, А.А. Босов Необхідні умови в задачі векторної оптимізації для функціоналів стосовно відновлювальних технологій	41
І. Л. Оборський, А. С. Зенкін, А. Г. Андрєєв, О. В. Щєпкін, А. П. Звонарьова, А. Г. Андрєєв Дослідження взаємозв'язку конструктивно-технологічних параметрів складання та НДС з'єднань з натягом	49
А.И. Долматов, И.А. Жданов Исследование процессов гибки трубопроводов в условиях комбинированного нагружения	55
В.В. Залкінд, О.І. Косенко Визначення характеристик оптичних властивостей текстильних матеріалів за допомогою інформаційних технологій	62

О.В. Борковський, Д.О. Шафігуліна, Д.І. Карпенко, С.О. Фетісов Обробка відеозображення в комп'ютеризованих системах технічного зору за допомогою спеціалізованих програмно-апаратних комплексів	65
Д.С. Опара, К.О. Коваленко, В.В. Шендрик Методика відбору та накопичення змінного у часі WEB-контенту	71
В. О. Шевченко Проверка достоверности результатов моделирования методами непараметрической статистики	75
В.Л. Марченко, Л.С. Драпак Особенности застосування табличного процесора MS EXCEL для розв'язування нелінійних рівнянь	79
А.В.Калмыков Методологии RUP и AGILE в управлении IT-проектами телекоммуникационного предприятия	82
Ю.В. Парфененко, Р.П. Окопний, В.Г. Неня Розробка інструментальних засобів контролю теплозабезпечення будівель	93
А.И. Тарасов, О.А. Литвиненко Численное моделирование процессов теплообмена в пористых средах применительно к системам охлаждения газовых турбин	98
О. Є. Васюков, Є. О. Варивода, В. А. Андронов, Є. В. Іванов Техногенні і екологічні аспекти життєвого циклу надзвичайних ситуацій	104
Н.Т. Арламова, М.В. Бурмистр, Т.В. Хохлова, М.Л. Сорока Изучение процесса термодеструкции отработанного ароматического полиамида	111
В.Л. Остроушко, В.Ю. Папченко Технологічні аспекти процесу екстракції рослинних олій	117
Абдулкарим Адхам С., С.Н. Мольченко, Ф. Ф. Гладкий Синтез симметричных моноацилглицеринов	120
Л.Г. Філатов, С.В. Сидоренко, О.С. Кононенко Поводження з електронними відходами в Україні. Аналіз проблеми та шляхи вирішення	124

В.И. Уberman, Л.А. Васьковец Определение и оценка нарушений нормативов сброса возвратных вод	131
В.В. Рисухін, О.В. Глушко, І.М. Макаренко Вплив концентрації розчинів сірчаної кислоти, форми катіоніту DAWEX- MAC-3 на ефективність його регенерації	137
Г.О Татарченко, И.Н. Шаповалова, Н.Ф. Тюпало, А.Г. Архипов Адсорбция бензбензозолов в серной кислоте	145
Я.В. Радовенчик, В. М. Радовенчик, Використання матеріалів з капілярними властивостями для розділення води та нафтопродуктів	151
Н.П.Кунденко Исследования криоконсервации микрообъектов крупного рогатого скота	156

Наукове видання

**ВІСНИК НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО
УНІВЕРСИТЕТУ "ХПІ"**

Збірник наукових праць

Серія

"Нові рішення в сучасних технологіях"

Випуск №34

Науковий редактор чл.-кор. НАН України, проф. Є. І. Сокол

Технічний редактор Т.Л. Коворотний

Відповідальний за випуск канд. техн. наук І. Б. Обухова

Обл.-вид. №107-12

Підписано до друку 09.07.2012. Формат 60х84/16. Надруковано на різнографі
Gestetner 6123CP. Ум.-друк. арк. 9,4. Облік.вид.арк. 10,0.

Наклад 300 прим. 1-й завод 1-100. Зам. №34. Ціна договірна

Видавничий центр НТУ «ХПІ»
61002, Харків, вул. Фрунзе, 21

Типографія "Технологічний Центр"
вул. Шатилова дача, 4 м. Харків, 61145