

УДК 629.764

V.V. Avdejev

Oles Honchar Dnipro National University

BATTERWOT'S CHARACTERISTIC AND INDICES OF A ROCKET STABILIZING SYSTEM

Встановлено зв'язок між радіусом півкола для розміщення коренів характеристичного поліному, коефіцієнтами закону регулювання, статичною похибкою і приведеною роботою виконавчого пристрою протягом перехідного процесу компенсації постійного збурювального прискорення. Результати можуть бути використані при розробці системи як альтернативний варіант для прийняття технічних рішень.

Ключові слова: *модальне управління, закон регулювання, статична похибка.*

Установлена связь между радиусом полуокружности для расположения корней характеристического полинома, коэффициентами закона регулирования, статической ошибкой и приведенной работой исполнительного устройства в течении переходного процесса компенсации постоянного возмущающего ускорения. Результаты могут быть использованы при разработке системы как альтернативный вариант для принятия технических решений.

Ключевые слова: *модальное управление, закон регулирования, статическая ошибка.*

The connection between radius of a semicircle for placement of the characteristic polynomial's roots, coefficients of a law of control, static error and reduced work during the transient process for compensation of a constant disturbing acceleration is established. The results can be used during system elaboration as an alternative option for engineering solution.

Keywords: *modal control, law of control, static error.*

Introduction. One of the options for determining the law of regulation in the system of stabilization (SS) of the rocket movement is to use the modal control method, which provides a given root location of the characteristic polynomial (CP) and the corresponding transient function. The harmonization of the requirements for the margin of SS stability, the quality of the transition process, the accuracy and the requirements for the power of the actuator requires the design of compromise decisions. Placing the roots of the CP according to Butterworth evenly over a semicircle of a certain radius is appropriate in terms of the frequency response of the SS in the low frequency range, but it remains open to question the accuracy of the compensation of perturbations and energy costs in transients.

The aim of the work is to establish a connection between the Butterworth parameter – the radius of the semicircle on the plane of the root of the CP, the quantitative estimation of accuracy, and the work of the actuator in the transient process of compensation of constant perturbation acceleration.

The work materials extend the methodological basis for the design of SS missiles and can be used as one of the options for determining the law of regulation based on the coefficients of perturbation equations around a certain point of the trajectory.

Refereces review. The main results obtained for the design of the SS as an integral part of the missile or spacecraft motion control system and the choice of regulation law (RL) are contained in a monograph [1]. Requirements for the frequency response of the actuator (RA) are set taking into account the oscillators due to the ultimate rigidity of the housing and the liquid fuel in the tanks.

Fluid fluctuations in tanks or payload structures significantly complicate the stabilization of movement and require special measures in the design of the project, in particular, rational choice of tank shape and installation of dampers [2].

When the mathematical model of the SS takes into account the fluctuations of the liquid fuel and the ultimate rigidity of the housing, as a rule, the dimension of the state vector is greater than the number of additives RL, which makes it impossible to directly use the well-known method of analytical design of regulators, where coefficients on the quality criterion of the transition process. But the necessary margin of stability can be ensured provided that there is sufficient damping in the oscillators and the proper selection of the frequency response of the controller [3].

A technique for optimization of RL by the criterion of "stability probability" is developed, since the parameters of the rocket are known with a certain error [4]. Its effectiveness is confirmed by the eighth-order model, which, in addition to rotational, takes into account the motion of the center of mass, the elasticity of the housing and the dynamic characteristics of the RA.

One of the methods for calculating linear RL coefficients, in which the quantitative estimation (criterion) of the quality of the transient SS perturbation compensation process becomes the least, is the use of a system of nonlinear Riccati equations. In [5], this system is presented for the fourth-order SS model, and in [6], for its second-order model, its analytical solution is obtained and an algorithm for determining elements of a symmetric criterion matrix, which provides the specified SS parameters, in particular, global stability is provided.

Taking into account the given margin of stability by analytical methods dependences of indicators characterizing the error of compensation of linear in time of perturbation acceleration from coefficients of equations of motion, parameters of executive and correction devices are determined [7]. The results are obtained for the model of the SS of flat rotary motion without taking into account the perturbations of the center of mass, in which, apart from the traditional ones, there are additives proportional to the angular acceleration of the housing and the angular velocity of rotation of the equivalent steering body. These components make it possible to increase the stability region on the plane of the other two coefficients of the RL and to reduce the individual coordinates of the error vector, but the level of the high-frequency interference component increases in the signal of the controller.

The estimations of the accuracy of compensation of linear perturbation acceleration in the form of simple analytical dependences on the parameters of the rocket and the coefficients of RL were obtained [8]. The possibility of a compromise

reconciliation of conflicting requirements for accuracy and margin of stability is shown. The perturbation of the motion of the center of mass and the analysis of the requirements for the power of the RA at transient processes of compensation of perturbations are not taken into account.

The analysis shows that the available sources do not sufficiently cover SS indicators, the RL of which was chosen by the modal control method, in particular, using standard Butterworth forms [9].

Materials and methods. At the initial stage of SS development, the oscillators of the elastic oscillations of the rocket body and the liquid fuel, as well as the inertia of the RA, are not taken into account. Then in the vicinity of a certain point of the trajectory the perturbed motion in the yaw plane is described by the equations:

$$\ddot{\psi} = a_{\psi\psi} \cdot \psi + a_{\psi\delta} \cdot \delta + m_y \cdot \dot{V}_z, \dot{V}_z = a_{z\psi} \cdot \psi + a_{z\delta} \cdot \delta + f_z, \delta = k_{\psi} \cdot \psi + k'_{\psi} \cdot \dot{\psi} - k'_z \cdot V_z, \quad (1)$$

where ψ, δ – angles of yaw and turn of the equivalent steering body, v_z – projection of the velocity of the center of mass of the rocket on the axis perpendicular to the plane of the trajectory; $a_{\psi\psi}, a_{\psi\delta}, a_{z\psi}, a_{z\delta}$ – traditional [1] designations of coefficients that depend on the parameters of the rocket and trajectory; f_z, m_y – perturbing linear and rotational acceleration; $k_{\psi}, k'_{\psi}, k'_z$ – RL coefficients.

To assess the accuracy of the SS equations (1) are written in matrix form:

$$\dot{x} = a \cdot x + f, \quad a = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ a_{\psi\psi} + a_{\psi\delta} \cdot k_{\psi} & a_{\psi\delta} \cdot k'_{\psi} & -a_{\psi\delta} \cdot k'_z \\ a_{z\psi} + a_{z\delta} \cdot k_{\psi} & a_{z\delta} \cdot k'_{\psi} & -a_{z\delta} \cdot k'_z \end{bmatrix}, \quad x = \begin{bmatrix} \psi \\ \dot{\psi} \\ V_z \end{bmatrix}, \quad f = c \cdot w = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} m_y \\ f_z \end{bmatrix} \quad (2)$$

According to the third-order Batterwot form [9], the roots $Q(s) = s^3 + \sum_{i=0}^2 q_i \cdot s^i$ of the CP are located in the left half of the plane of the complex variable s in a semicircle with a radius ω_0 , and the corresponding coefficients are the following ($j^2 = -1$):

$$\omega_0 \cdot \begin{bmatrix} -1 \\ -0.5 \pm j \cdot \sqrt{3}/2 \end{bmatrix}, q_0 = \omega_0^3, q_1 = 2\omega_0^2, q_2 = 2\omega_0. \quad (3)$$

The dependence of the RL on the Batterwot parameter is determined by equating the CP coefficients determined from equations (1) to the corresponding values (3):

$$k_{\psi} = \frac{2\omega_0^2 + a_{\psi\psi}}{|a_{\psi\delta}|}, \quad k'_{\psi} = \frac{\omega_0 \cdot (2\Delta - a_{z\delta} \cdot \omega_0^2)}{\Delta \cdot |a_{\psi\delta}|}, \quad k'_z = \frac{\omega_0^3}{\Delta}, \quad \Delta = a_{\psi\delta} \cdot a_{z\psi} - a_{z\delta} \cdot a_{\psi\psi}. \quad (4)$$

For the data Table 1 the coefficients of RL (4) are shown in Fig. 1. Their upper limit is absent unless one considers the power and performance requirements of the RA and remains within model (1).

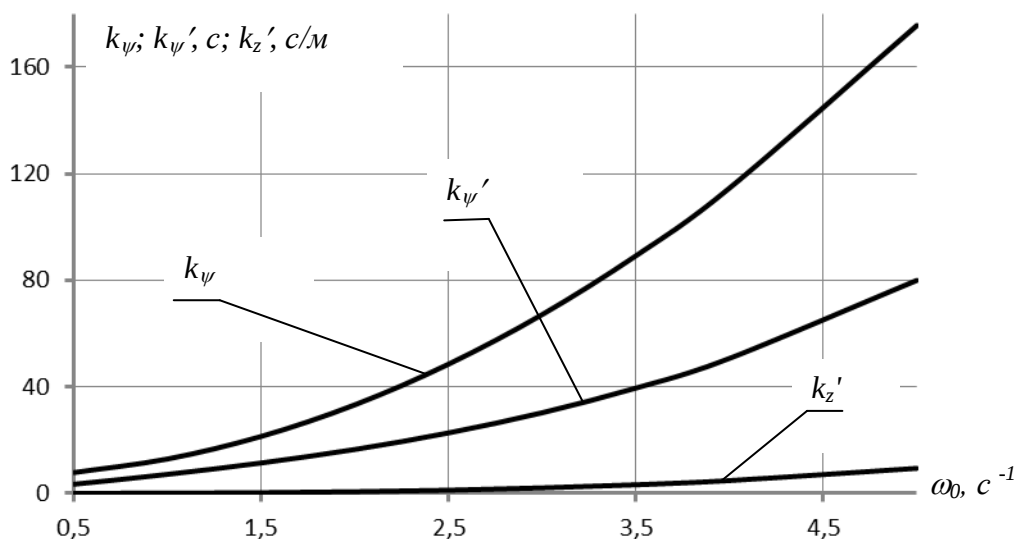


Fig.1 RL coefficients depending on Batterwot's parameter

Table 1

An example of the equations coefficients of the perturbed rocket motion

$a_{z\psi}$	$a_{z\delta}$	$a_{\psi\delta}$	$a_{\psi\psi}$
M/c^2		$1/c^2$	
-36.09	-1.441	-0.295	1.8113

The accuracy of SS under the action of constant perturbation acceleration is quantified by the error matrix

$$er_0 = -a^{-1} \cdot c; \quad (5)$$

where a, c were defined in (2). Consider the case in which the rotational perturbation acceleration m_y is caused by the projection of aerodynamic force on an z axis, which is applied at the center of aerodynamic pressure x_d . Then

$$m_y = k_i \cdot f_{z0}, \quad k_i = \frac{m \cdot (x_d - x_t)}{I},$$

where m, I is the mass and moment of inertia of the rocket relative to the transverse axis passing through the center of mass with the coordinate x_t ; in this approach, the matrix (5) is transformed into an error vector.

Elemental transformations make it possible to obtain it analytically:

$$er0 = \frac{1}{k_z' \cdot \Delta} \cdot \begin{bmatrix} k_z' \cdot (a_{z\delta} \cdot k_i - a_{\psi\delta}) \\ 0 \\ k_i \cdot (a_{z\psi} + a_{z\delta} \cdot k_{\psi}) - a_{\psi\psi} - a_{\psi\delta} \cdot k_{\psi} \end{bmatrix}. \quad (6)$$

Under the action of constant perturbation f_{z0} after the transition process, the vector of the SS state approaches $x_f = er0 \cdot f_{z0}$. This is confirmed by the numerical solution of the system of equations (2).

The analysis shows that the Batterwot parameter ω_0 affects only the third coordinate (Fig. 2) of the error vector (6), which depends on the value V_z after the transition process:

$$er0_1 = \frac{a_{z\delta} \cdot k_i - a_{\psi\delta}}{a_{\psi\delta} \cdot a_{z\psi} - a_{\psi\psi} \cdot a_{z\delta}}, \quad er0_2 = 0, \quad er0_3 = \frac{a_2 \cdot \omega_0^2 + a_0}{\omega_0^3},$$

$$a_2 = \frac{2 \cdot (k_i \cdot a_{z\delta} - a_{\psi\delta})}{|a_{\psi\delta}|}, \quad a_0 = \frac{a_{\psi\psi} \cdot (k_i \cdot a_{z\delta} - a_{\psi\delta})}{|a_{\psi\delta}|} + k_i \cdot a_{z\psi} - a_{\psi\psi}. \quad (7)$$

One way to quantify the quality of the transition process is to determine the reduced work of the RA on the transient compensation process of constant perturbation acceleration at zero initial conditions [5].

Working for an interval of time dt is obviously a product of the torque created by the RA, the angle of rotation of the steering body, that is $M \cdot \dot{\delta} \cdot dt$ and during the transition process T it is equal to

$$A = \int_0^T |M(t) \cdot \dot{\delta}(t)| \cdot dt. \quad (8)$$

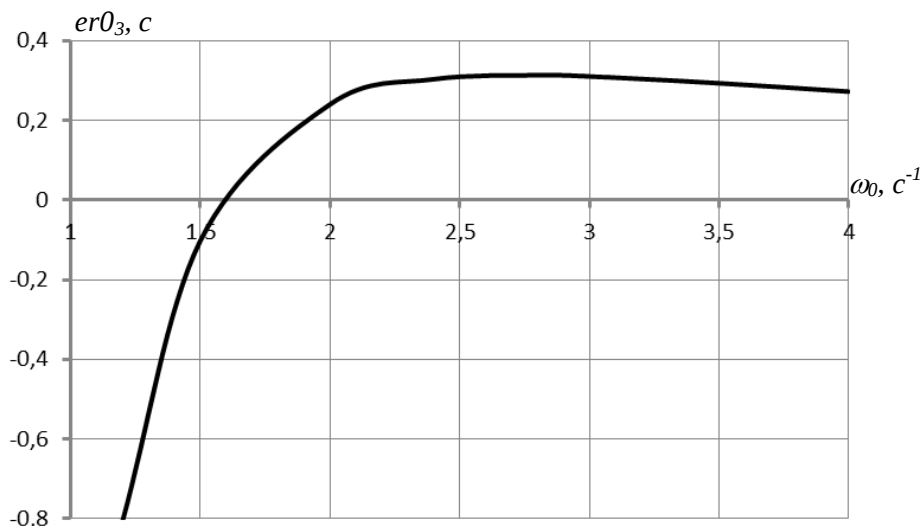


Fig. 2. The third coordinate of the error vector

The torque in the first approximation follows from the differential equation:

$$I_{RA} \cdot \ddot{\delta} + c_1 \cdot \dot{\delta} + c_0 \cdot \delta = M ,$$

where I_{RA} is the moment of inertia of the equivalent steering body, reduced to the axis of its rotation; c_1 , c_0 are damping factor and rigidity of the rotary device; the angle of rotation δ and its derivatives can be determined by solving equation (1), for example, by the operator method.

Despite the presence of an analytical expression $\delta(t)$ and two derivatives, the dependence of criterion (8) on the Butterworth parameter ω_0 is determined numerically (Fig. 3).

Results.

1. For the SS of rocket motion as a solid in the yaw plane without taking into account the inertia of the RA, a relation of the Butterworth parameter ω_0 to the coefficients of RL (4) was obtained.

2. Equations (7), which quantitatively characterize the accuracy of compensation of the constant perturbation acceleration depending on ω_0 were established.

3. To evaluate the quality of the transition process, an algorithm for determining the reduced performance of the RA was developed, which used an analytical solution of the differential equations (1) of the perturbed motion of the rocket.

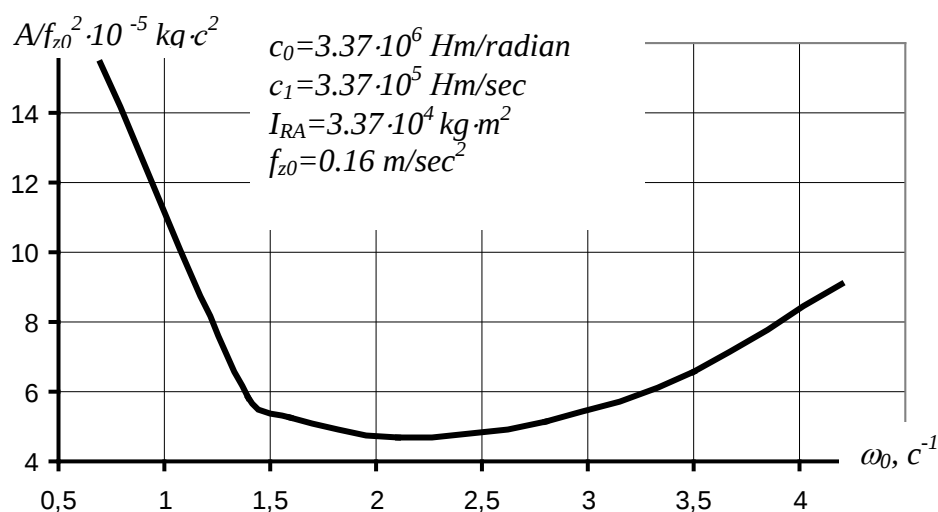


Fig. 3. The work of the RA on a transient of 6 sec duration with compensation of constant perturbation acceleration

Conclusions.

1. The coefficients of RL are proportional to the Batterwot parameter ω_0 (Fig. 1), in order to find their restriction from above it is necessary to take into account the inertia of the RA.

2. The value of ω_0 affects only the static velocity error $V_z(er0_3)$; in the vicinity of certain values ω_0 of $er0_3$, the value takes the smallest values closed to zero (Fig. 2).

3. The algorithm for determining the reduced operation of the RA makes it possible to choose the Batterwot parameter range ω_0 where this indicator of the quality of the transition process is minimal (Fig. 3).

The use of the described variant of the modal control method, in which the given CP roots are evenly spaced in a semicircle of radius ω_0 is an alternative possibility of calculating the RL in the development of the SS.

References

1. Dynamic designing of rockets. Dynamics problems of rockets and space stages: monograph / I. M. Igdalov, L. D. Kuchma, N. V. Poliakov, Ju. D. Sheptun; under the editorship by academician S. N. Konyukhov. – Dnipro: JIIPA, 2013. – 280 p.
2. Rogers J., Castello M., Cooper G. Design consideration for stability of liquid payload projectiles / Journal of spacecraft and rockets / No 1, 2013, Vol. 50. – p. 169 – 178.

3. Хрусталёв М. М. Простой алгоритм стабилизации ориентации спутника с гибким элементом / М. М. Хрусталёв, А. С. Халина / Электронный журнал «Труды МАИ». Выпуск № 55, 2012. www.mai.ru/science/trudy.

4. Сухоребрый В. Г. Оптимизация параметров системы стабилизации ракет-носителей с помощью метода вариаций / В. Г. Сухоребрый, А. А. Цветкова, А. Б. Шопина / Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии / № 68, 2015. – С. 5 – 12. Режим доступа: http://nbuv.gov.ua/UJRN/vikt_2015_68_3.

5. Авдеев В. В. Критерій якості перехідного процесу і показники точності системи стабілізації ракети / В. В. Авдеев / Авиационно – космическая техника и технология / Харьков «ХАИ», 2017. № 1 (136) – С. 4 – 10.

6. C. Chen, Y. Liang, W. Jhu. Global stability of a system with state-dependent Riccati equation controller / Journal of guidance, control, and dynamics / No. 10, 2015, Vol. 38. – p. 2050 – 2054.

7. Авдеев В. В. Коэффициенты ошибок стабилизации вращательного движения ракеты / В. В. Авдеев // Техническая механика. – 2014. – № 3. – С. 71 – 78.

8. Авдеев В. В. Точність і запас стійкості системи стабілізації обертального руху ракети / В. В. Авдеев // Радіoeлектроніка, інформатика, управління / № 3, 2016. – С. 93 – 98.

9. Кузовков Н. Т. Модальное управление и наблюдающие устройства / Н. Т. Кузовков // М. машиностроение, 1976. – 184 с.

Надійшла до редколегії 12.06.18

УДК 621.983(681.14;658.512)

Н. Н. Убизький, А. И. Хащина

Днепропетровский национальный университет имени Олеся Гончара

МЕТОДИКА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ГОФР НА ТОНКИХ СТЕНКАХ ПРОФИЛЬНЫХ ЗАГОТОВОК ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ШПАНГОУТОВ

Приведено методику визначення критичного радіуса вигину профілів, що мають тонкі стінки, схильні до утворення гофри при вигині.

Ключові слова: критичний радіус, гофри, вигин, профіль, тонкі стінки.

Приведена методика определения критического радиуса изгиба профилей, которые имеют тонкие стенки, склонные к образованию гофр при изгибе.

Ключевые слова: критический радиус, гофры, изгиб, профиль, тонкие стенки.

Methodology over of determination of critical radius of bend of profiles which have thin walls feel like formation of gofers at a bend is brought.

Keywords: critical radius, gofers, bend, profile, thin walls.

Для изготовления шпангоутов изделий ракетно-космической техники широко применяют различные способы изгиба профильных заготовок. Значительная часть профильных заготовок имеет тонкую стенку. Для радиусов гибки, которые характерны при производстве шпангоутов, профиля у которых отношение длины стенки к её толщине более 10 относятся к разряду тонкостенных.

В научно-технической литературе отсутствуют рекомендации по обоснованному выбору способов и технологического маршрута гибки при производстве шпангоутов из профилей, имеющих тонкую стенку. Эти обстоятельства приводят к значительному объёму доводочных и слесарных работ и неоправданному увеличению сроков и стоимости технологической подготовки производства изделий новой техники.

С целью предупреждения местной потери устойчивости в процессе изгиба применяют различные практические меры, а именно: используются различные наполнители внутреннего объёма поперечного сечения, вкладыши, местный подогрев заготовок [1,2,3] или предусматривают последующую калибровку в штампе.

При изгибе тавровых профилей образование гофр происходит в том случае, когда плоская стенка (большая её часть) находится в зоне сжатия. В работах [4,5,6] напряжённое состояние, предшествующее моменту потери устойчивости, принято линейным. В [5] величина критического радиуса

кривизны определяется из условия равенства максимального напряжения в крайнем волокне сжатой стенки профиля его критическому значению.

В [5] отмечается, что критический радиус кривизны зависит от соотношения толщины и ширины сжатой стенки профиля и его упругопластических свойств.

Рассмотрим устойчивость цилиндрических и конических стенок, расположенных в зоне сжимающих тангенциальных деформаций (рис. 1).

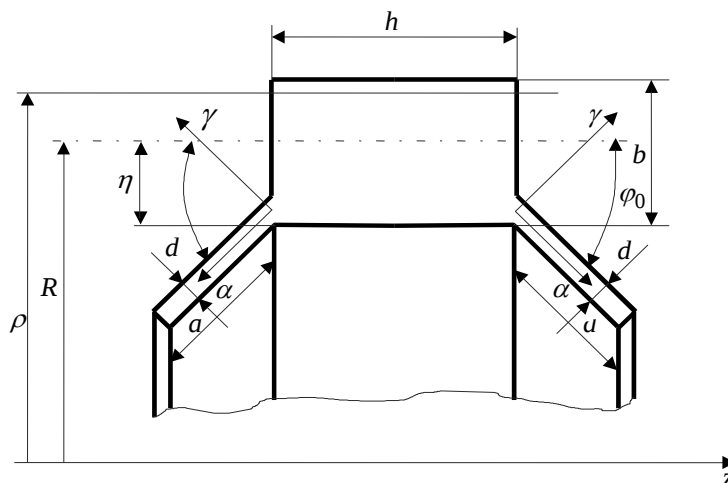


Рис. 1. Обобщенная форма поперечного сечения профиля

При определенном соотношении геометрических размеров, механических характеристик материала и кривизны нейтрального слоя профиля стенки теряют устойчивость с появлением гофров, имеющих определенную длину полуволны a^* и максимальный прогиб при выпучивании ω_0 (рис. 2).

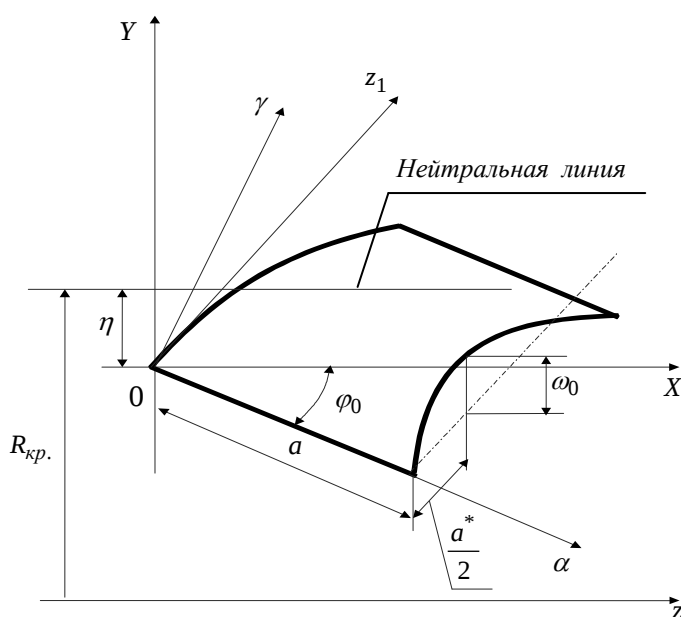


Рис.2. Элемент конической стенки в условиях потери устойчивости

Тонкую стенку с размерами поперечного сечения a и d , см. рис. 1, можно рассматривать как оболочку.

Задача определения критического радиуса кривизны при местной потере устойчивости цилиндрических и конических стенок, которые находятся в условиях линейного напряженного состояния ($\sigma_\alpha = \sigma_\gamma = 0$), решается в соответствии с методом, разработанным С. П. Тимошенко [7] и распространенным на задачи устойчивости за пределом упругости А. А. Ильюшиным [8]. Согласно энергетическому критерию устойчивости уравнение критического состояния равновесия имеет вид:

$$\int_0^a \int_0^{a^*} \left[W + \frac{1}{2} d \sigma_\beta \left(\frac{\partial \omega}{\partial z_1} \right)^2 \right] d\alpha dz_1 = 0 \quad (1)$$

где: W – потенциал изгибающих и крутящего моментов, обусловленных образованием гофров в результате потери устойчивости; ω – функция, аппроксимирующая форму гофров; a^* – длина полуволны; Oz_1 – ось, совпадающая с направлением касательной к оси $O\beta$.

Граничные условия для функции прогиба ω имеют следующий вид:

$$\omega = 0 \quad \text{при} \quad \alpha = z_1 = 0. \quad (2)$$

В уравнении критического состояния равновесия (1) принимаем функцию, аппроксимирующую форму волны и удовлетворяющую граничным условиям (2), в следующем виде:

$$\omega = \omega_0 \left(1 - \cos \frac{\pi \alpha}{2a} \right) \sin \frac{\pi z_1}{2a^*}. \quad (3)$$

Напряженное состояние, предшествующее моменту потери устойчивости, принимаем линейным. Величина относительной тангенциальной деформации в условиях линейного напряженного состояния равна

$$\varepsilon_\beta = \frac{-\eta + \alpha \sin \varphi_0}{R}, \quad (4)$$

где η – расстояние от нейтральной линии.

Кривую упрочнения принимаем в виде $\sigma_i = A \varepsilon_i^n$.

Потенциал изгибающих и крутящих моментов из (1), обусловленных горообразованием, определяется по формуле [9]:

$$W = \frac{2}{3} E_p I \left[x_{z1}^2 + x_{z1} x_\alpha + x_\alpha^2 + x_{z1\alpha}^2 - \frac{3}{4} \left(1 - \frac{E_t}{E_p} \right) \frac{X^2}{\sigma_i^2} \right], \quad (5)$$

где I – момент инерции полоски единичной длины, вырезанной из исследуемой стенки; E_p – модуль пластичности; E_t – касательный модуль; x_{z1} , x_α , $x_{z1\alpha}$ – вторые частные производные от функции прогиба $\omega(\alpha, z_1)$ по соответствующим переменным; $X = \sigma_\beta x_{z1}$, σ_β – тангенциальное напряжение.

Учитывая линейный характер напряженного состояния, имеем

$$\varepsilon_i = \left| \varepsilon_\beta \right|; \quad (6)$$

$$\sigma_\beta = -\sigma_i = -k \left| \frac{-\eta + \alpha \sin \varphi_0}{R} \right|^n. \quad (7)$$

Подставляя выражения с (5)- по (7) в уравнение критического состояния равновесия (1), беря частные производные и вычисляя определенные интегралы, находим выражения для радиуса кривизны нейтрального слоя профильной заготовки

$$R = \frac{9}{\pi^2 d^2} I_5 \frac{16a^{*2} a^4}{16a^4 c I_1 + a^{*4} I_3 + 4a^2 a^{*2} (I_4 - I_2)}, \quad (8)$$

где
$$I_j = \int_a^0 \pi_1^{n-1} f_j(\alpha) d\alpha; \quad j = 1, 2, \dots, 5;$$

$$f_1(\alpha) = \left(1 - \cos \frac{\pi \alpha}{2a} \right)^2; \quad f_2(\alpha) = \cos \frac{\pi \alpha}{2a} \left(1 - \cos \frac{\pi \alpha}{2a} \right);$$

$$f_3(\alpha) = \cos^2 \frac{\pi \alpha}{2a}; \quad f_4(\alpha) = \sin^2 \frac{\pi \alpha}{2a};$$

$$f_5(\alpha) = \left(1 - \cos \frac{\pi \alpha}{2a} \right); \quad c = 1 - 0,75(1 - n);$$

$$\eta_1 = \left| -\eta + \alpha \sin \varphi_0 \right|; \quad c_1 = \left(\frac{c I_1}{I_3} \right)^{1/2}.$$

Находим экстремум функции $R = R(a^*)$ из условия $\frac{\partial R(a^*)}{\partial a^*} = 0$.

Окончательно:

$$a^* = 2a \left(\frac{cI_1}{I_3} \right)^{1/4}; \quad (9)$$

$$R_{кр} = \frac{36a^2}{\pi^2 d^2} \frac{c_1 I_5}{2cI_1 + (I_4 - I_2)c_1}, \quad (10)$$

где $R_{кр}$ – максимальный радиус кривизны, при котором происходит местная потеря устойчивости стенок профиля.

Для расчета критического радиуса кривизны и длины полуволны по формулам с (3) по (10) составлен алгоритм решения и программа. Исходными данными являются геометрические характеристики профиля: a , d , φ_0 (см. рис. 1), а также показатель степени n в выражении для кривой упрочнения. Последняя величина находится по соответствующим таблицам, приведенным в [9]. Интегралы I_1 – I_5 , входящие в выражения (9) и (10), вычислялись численно с помощью стандартных программ, реализующих вычисления определенного интеграла по квадратурной формуле Гаусса с десятью узлами.

На рис. 3. показаны зависимости, полученные в результате расчета критического радиуса гибки. Расчеты проведены для прессованных профилей из алюминиевого сплава Амг6-М. Толщина конической стенки принималась равной $d = 6$ мм. Длина стенки a и угол наклона φ_0 варьировались.

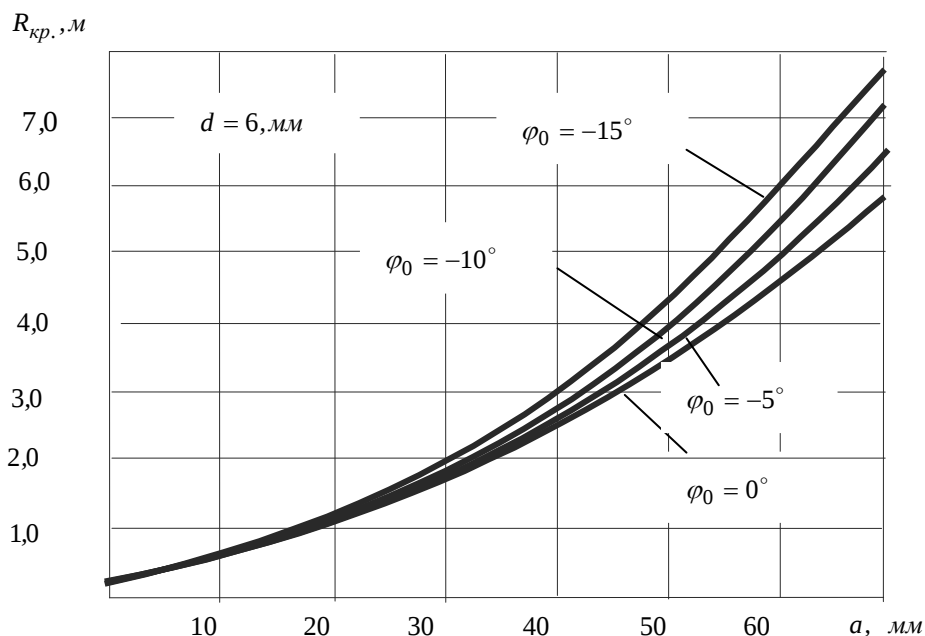


Рис. 3. Влияние геометрических размеров стенки и её угла наклона на критический радиус гибки

Проведенные экспериментальные исследования на специально изготовленной опытной партии профилей показали, что экспериментальные и расчетные значения критического радиуса гибки тонкостенных профилей, отличаются не более чем на 5%.

Выводы. Предложенная методика предназначена для предварительных расчетов, с целью определения целесообразности изготовления шпангоутов из выбранного типа профиля. В том случае, когда значения критического радиуса больше, чем радиус гибки, рекомендуется выбрать другой тип профиля или при проектировании технологического маршрута изготовления своевременно предусмотреть калибровку в штампе для устранения гофров, образующихся при местной потере устойчивости.

Библиографические ссылки

1. Громова, А.Н. Изготовление деталей из листов и профилей при серийном производстве /А.Н. Громова, В.И. Завьялова, В.К. Коробов // М.: Оборонгиз, 1960. – 344 с.
2. Громова, А.Н. Безштамповое изготовление деталей из листов, профилей и труб /А.Н. Громова, Е.Н. Попова, Е.С. Сизов // М.: ЦИНТИМАШ, 1962. – 91 с.
3. Губкин, С. И. Основы обработки металлов давлением /С.И. Губкин, Б.П. Звороно и др // М.: Машгиз, 1959. – 539 с.
4. Ершов, А.Г. Исследование процессов формообразования пластическим изгибом и подсечкой деталей из прессованных и сварных профилей титановых сплавов /А.Г. Ершов // М.: НИАТ, 1974. – 53 с.
5. Лысов, М. И. Теория и расчет процессов изготовления деталей методами гибки /М. И. Лысов // М.: Машиностроение, 1966. – 236 с.
6. Разумихин, М.И. Гофрообразование при изгибе тонкостенных профилей /М.И. Разумихин, Ю.Б. //Кузнечно-штамповочное производство, 1967, №9, С.23 – 24.
7. Тимошенко, С.П. Устойчивость стержней, пластин и оболочек /С.П. Тимошенко //М.: Наука, 1971. – 807 с.
8. Ильюшин, А.А. Пластичность /А.А. Ильюшин // М.: ГИТЛ, 1948. – 376с.

Надійшла до редколегії 28.01.2019

УДК 669.45+669.046.558

S. Polishko, A. Davidjuk, A. Sanin, N. Kalinina, E. Dzhur

Oles Honchar Dnipro National University

ALUMINUM ALLOY MODIFIERS

В даній статті проведено аналіз виплавки алюмінієвого сплаву АК5М, встановлені причини переважного застосування багатофункціонального модифікатора алюмінієвих сплавів в порівнянні з плавленими модифікаторами. Розглянуто види модифікаторів для алюмінієвих сплавів. Також визначено вплив модифікування на підвищення рівня характеристик пластичності алюмінієвого сплаву АК5М. Доведено за допомогою багатофункціональних модифікаторів можна отримати алюмінієвий сплав АК5М з підвищенням рівня пластичності.

Ключові слова: *алюмінієвий сплав АК5М, модифікування, хімічний склад, характеристики пластичності.*

В данной статье проведен анализ выплавки колесной стали марки R7, установлены причины недолегирования колесной стали этой марки, а также рассмотрено влияние модифицирования на стабилизацию химического состава и повышение уровня механических свойств колесной стали марки R7. Доказано при помощи коэффициентов корреляции различных видов, что введение в расплав многофункциональных модификаторов способствует долегированию расплава, стабилизации химического состава и повышению уровня механических свойств колесной стали марки R7.

Ключевые слова: *колесная сталь R7, модифицирование, коэффициент корреляции, химический состав, механические свойства.*

This article deal with analysis of the R7 wheel steel smelting has been carried out, the reasons for the non-alloying of the wheel steel of this brand have been determined, and the influence of the modification on the stabilization of the chemical composition and the increase in the mechanical properties of the R7 wheel steel has been considered. It has been proved with the help of correlation coefficients of various types that the introduction of multifunctional modifiers into the melt promotes alloying of the melt, stabilization of the chemical composition and an increase in the level of mechanical characteristics of the R7 wheel steel.

Key words: *wheel steel R7, modification, coefficient of correlation, chemical composition, mechanical characteristics.*

Introduction. Aluminum is one of the main structural materials used in various industries - aerospace, shipbuilding, metallurgy, mechanical engineering, oil refining, construction, chemical, food, light, etc. This is due to the combination of its distinctive characteristics such as high specific strength for a very low specific mass (2700 kg / m³), the ability to deoxidize and refine steel due to its high affinity for oxygen, hydrogen, and nitrogen. This alloy has high technological properties - mold filling during casting, weldability, ability to deform not only at high and medium, but even at room temperatures, which is associated with a face-centered cubic aluminum lattice.

Also, the structural strength of aluminum alloys substantially depends on the presence of iron and silicon impurities, which in alloys form brittle FeAl_3 , α phases (α , Al, Fe, Si), β (Al, Fe, Si) and other lamellar or needle forms insoluble in solid solutions. and reduce ductility, fracture toughness, resistance to crack development and corrosion resistance; manganese doping eliminates the influence of harmful impurities due to the formation of a new phase crystallizes in a compact form [1-3].

All this causes practical interest among researchers in the field of aluminum alloys, which makes this research topic relevant.

Formulation of the problem. Determination of alloying and modification methods for aluminum alloy AK5M, as well as the effect of modifiers on the mechanical characteristics of this alloy.

Method of solution and analysis of the results. Melts of aluminum alloys are alloyed mainly with silicon, copper, manganese, magnesium, zinc, zirconium, and also lithium, beryllium, zinc, titanium, germanium, selenium, scandium, strontium. Depending on the set and concentration of alloying elements, aluminum alloys have different properties and applications. According to the manufacturing technology, aluminum alloys are classified into cast and wrought. High heat of melting and heat capacity contribute to slow cooling from the liquid state, this leads to the formation of a coarse-grained structure, but at the same time makes it possible to improve the properties of castings from aluminum and its alloys by modifying, refining and other technological operations.

For aluminum alloys, modifiers of the first kind are used; they delay the growth of grains formed due to the adsorption of surface-active compounds on the faces of the crystals that grow and of the second, providing accelerated crystallization on the ready-made embryos. They can be refractory particles (carbides, nitrides, oxides), the crystal lattice of which is well combined with the aluminum crystal lattice. In the manufacture of ingots and shaped castings from aluminum alloys, it is often used modifiers of the second kind. According to the concentration required to achieve the effect of modification, the elements can be divided into two groups. The first group includes such modifiers; the modifying actions of Ti, Nb, Zr, B, Mo, W are given in descending order. The required number is tenths and hundredths of a percent. The second group includes Mg, Cu, Zn, Fe, Ni, Cr, Mn, Si; these additives need to be introduced in a small amount.

Modifiers of the first kind for aluminum alloys can be surface-active elements with a low melting point and a weak interatomic bond in the solid and liquid states: Li, Na, Ca, Sr, Pb, Be, Zn, Ge, Sn, Se, Sc.

Modifiers of the second kind, primarily titanium, boron, rare-earth metals, zirconium, which form crystallization centers in the form of intermetallic compounds (TiAl_3 , ZrAl_3 , BaAl_3 , etc.), carbides, nitrides, oxides were used to grind grain of both casting and deformable alloys.

Of great importance is the modification in the production of shaped castings, when the parameters of the cast structure is a factor determining the quality of the metal. In the manufacture of deformed products with an increase in the degree of deformation, its influence weakens, although it persists on highly deformed metal

(thin sheets, strips). Modification in this case improves manufacturability, dramatically reduces cracking, increases the level and stability of mechanical properties, reduces their anisotropy.

Significant changes in the structure, mechanical and technological properties during the modification, the complex nature of phenomena and processes cause considerable practical interest [4–8].

Therefore, specialists of the department of production technology developed a modifier for processing molten aluminum alloys. An experimental model and an experimental-industrial batch of titanium-based modifiers were manufactured (Fig. 1). Its specific weight is 1.7 times greater than that of aluminum and its alloys. The modifier has a strong effect of grinding the primary grains 12 times and has the ability to increase the ductility of high-strength aluminum alloys. Thus, the relative elongation of the AK5M alloy increased by $\sim 17\%$ when modifying with a new modifier. The modifier received a decision of October 23, 2008 on issuing a patent for an invention on application No. a in 2007 00849. This modifier at Hydrosila (Kirovograd) processed 0.5 tons of high-strength aluminum alloy AK5M (Fig. 2). Casting turned tight without defects. The metal structure was characterized by a very fine grain and a low content of harmful impurities, due to which the ductility of casting increased 1.7 times, which is important for high-strength products.



Fig. 1. Appearance modifier for aluminum alloy AK5M



a)



b)

Fig. 2. Appearance of industrial casting from aluminum alloy AK5M, modified (with the letter "M") and control serial (with the letter "K"):

a - outer side; b - the inner side

Complex modifiers used in the form of nanopowders. As a result of processing with such modifiers, the hardness, strength and ductility of the AK5M aluminum

alloy treated by them turned out to be significantly higher than the characteristics of alloys treated with fused modifiers. This direction is promising, but little studied.

Conclusions. This article dial with describes the modifiers of the first and second kind, used for aluminum alloy AK5M. It is established that these modifiers are more preferable than modifiers manufactured in a fused manner. In the modified metal using special modifiers, the relative elongation increases by about 17%. This indicates the promise of using special modifiers for the treatment of molten aluminum alloys.

References

1. Polishko S. A. Effect of modification on the formation of nonmetallic inclusions in kp-t wheel steel TM, 2017, № 4 , p. 111-114, DOI: [10.15587/2312-8372.2019.157676](https://doi.org/10.15587/2312-8372.2019.157676)
2. Investigation of the influence of nanodispersed compositions obtained by plasmochemical synthesis on the crystallization processes of structural alloys// Dzhur Y., Kalinina N., Grekova M., Guchenkov M.// Eureka: physics and engineering, 6, 2017, Estonia Tallin. – P. 63-68. DOI [10.21303/2461-4262.2017.00500](https://doi.org/10.21303/2461-4262.2017.00500)
3. Бечке, К.В. Определение параметров распыления, обеспечивающих максимальную скорость охлаждения частиц порошка алюминиевого сплава / К.В. Бечке, А.Ф. Санин, М.А. Шандрыга // Современное материаловедение: опыт, проблемы и перспективы развития: 2015: Т. – Алматы, 2015. – С. 69-76.
4. Полішко С.О. Влияние модифицирования многофункциональными модификаторами на структуру и свойства колесных сталей /С.О. Полішко// Первый независимый научный вестник, Киев, № 6 – 2016, с. 87-96 (Ulrich's Periodicals Directory, EBSCO, Open Academic Journals Index)
5. Polishko S. Effect of processing at the steel vacuum processing unit (SVPU) on desulfurization of unmodified and modified KP-2 steel/S. Polishko /technology audit and production reserves).//Сб научн.трудов— № 1/3(45), – 2019, p 4-8. DOI: 10.15587/2312-8372.2019.157676
6. Пат 93684 Україна МПК (2011.01) C22C 35/00 C21C 7/04. Розкислювач-модифікатор для обробки розплавів сталей і сплавів. [Електронний ресурс] /Шаповалова О. М, Шаповалов В. П., Шаповалов О. В., Полішко С. О.(Україна); Заявник та патентотримувач Дніпропетровський національний університет імені Олеся Гончара. – №а200801124, заявл. 30.01.2008 р., опубл. 10.03.2011 р. – Бюл №5. – Режим доступу: \www/URL: <http://uapatents.com/4-93684-rozkislyuvach-modifikator-dlya-obrobki-rozplaviv-stalejj-i-splaviv.html>
7. Brebbia C., Connor J. J., Newkirk J. W., Popov A. A., Zhilin A. S. Progress in Materials Science and Engineering. Springer, 2018. 203 p.
8. Полишко С. А. Стабилизация химического состава при выплавке колесной стали класса «С» // Вісник Дніпропетровського національного університету імені Олеся Гончара. Серія Ракетно-космічна техніка. 2017. Вип. 1. С. 78–85.

Надійшла до редколегії 28.03.2019

УДК 532.516

В.И. Елисеев¹, Ю.П. Совит², Б.А. Блюсс¹¹Институт геотехнической механики НАН Украины²Днепропетровский национальный университет им. Олеса Гончара

ИОНОПЕРЕНОС ПРИ КОНВЕКТИВНО – ДИФфуЗИОННОМ РАЗДЕЛЕНИИ ПОТОКОВ

Розглядаються модельні задачі про розподіл зарядонесущих компонентів на два потоки за допомогою мембрани в комірці діалізного апарату. Для більш яскравого виявлення ефекту поділу компоненти приймаються такими, щоб вони помітно відрізнялися один від одного масою іонів і коефіцієнтами дифузії. Розглянуто конвективно-дифузний процес переходу іонів через мембрани, що мають різні фізичні особливості, які створюють опір переходу. В результаті розв'язку отримані розподіли потенціалів і компонентів в об'ємі комірки діалізного апарату в залежності від часу. Показано, що в капілярі і мембрані порівняно швидко встановлюється квазірівноважний стан, що визначає співвідношення витрат компонентів в каналах комірки.

Ключові слова: *поділ компонентів, мембрана, капіляр, діалізний апарат, конвективно-дифузний процес, розподіл потенціалів.*

Рассматриваются модельные задачи о разделении зарядонесущих компонентов на два потока с помощью мембраны в ячейке диализного аппарата. Для более яркого обнаружения эффекта разделения компоненты принимаются такими, чтобы они заметно отличались друг от друга массой ионов и коэффициентами диффузии. Рассмотрен конвективно-диффузионный процесс перехода ионов через мембраны, имеющие различные физические особенности, создающие сопротивление переходу. В результате решения получены распределения потенциалов и компонентов в объеме ячейки диализного аппарата в зависимости от времени. Показано, что в капилляре и мембране сравнительно быстро устанавливается квазиравновесное состояние, определяющее соотношение расходов компонентов в каналах ячейки.

Ключевые слова: *разделение компонентов, мембрана, капилляр, диализный аппарат, конвективно-диффузионный процесс, распределение потенциалов.*

Model problems on the separation of charge-carrying components into two streams using a membrane in a cell of a dialysis apparatus are considered. For a brighter detection of the separation effect, the components are taken such that they differ markedly from each other in the mass of ions and diffusion coefficients. The convective-diffusion process of transition of ions through membranes with different physical features that create resistance to the transition is considered. As a result of the solution, the potential and component distributions were obtained in the cell volume of the dialysis apparatus as a function of time. It was shown that a quasi-equilibrium state is established relatively quickly in the capillary and the membrane, which determines the ratio of the flow rates of the components in the cell channels.

Keywords: *separation of components, membrane, capillary, dialysis apparatus, convective-diffusion process, potential distribution.*

Введение. Одной из фундаментальных проблем современной физикохимии является разделение зарядов на межфазных границах. Как отмечается в [1] интерес к процессам на границах раздела сред связан с тем, что наш мир по существу многофазен. Практически все энергопреобразующие процессы в живых системах (дыхание, фотосинтез) протекают на границе раздела жидких фаз. Однако, в редких случаях границы между двумя жидкими фазами не включают в себя третьей субстанции. Чаще, как в биологических системах, так и в уже многих технологических процессах присутствуют мембраны или жидкие пленки, выполняющие роль мембран, вследствие чего они представляют некоторый переходной слой со своими физико-химическими свойствами. Мембранным технологиям и, в частности, ионообменным мембранам посвящено уже большое количество работ, например [2, 3]. Мембраны являются важнейшими элементами в диализных аппаратах, используемых для разделения компонентов потока, в частности, для очистки воды, для очистки крови от метаболитов (гемодиализ), а также для ионного фракционирования. Значительный научный и практический интерес представляют ионообменные мембраны, работающие в режиме ультра- и нанофильтрации, когда состав электролитов оказывает заметное влияние на селективные характеристики мембран [4]. Однако, в целом на процесс ионотранспорта при диализе потоков будет оказывать влияние и конструкция аппарата. Для таких аппаратов, как, например, аппарат для очистки крови, когда размеры ячейки (основного функционального элемента) определяются миллиметрами и их долями, уже нельзя выделить мембрану, как автономную часть аппарата. В этом случае необходимо рассматривать всю рабочую часть как некоторую единую систему. Медицинским аспектам работы такого гемодиализного аппарата посвящена работа [5, 6], вопросы массотранспорта освещены в [6-8]. Известно, что плазму крови можно считать, как коллоидным раствором, содержащим различные белковые соединения, так и электролитом с ионами различных солей [9]. В фармацевтической отрасли в составе растворов могут содержаться ионы больших сложных молекул, различающиеся существенно своими массами и коэффициентами диффузии. Вследствие этого представляет большой интерес ионотранспорт в диализных каналах с учетом пропускной способности мембран.

Ионотранспорт в жидких электролитах с учетом взаимодействия зарядонесущих компонентов с фазовыми поверхностями и, в частности, твердыми телами является предметом исследований в электрохимии [10]. На протяжении XIX и XX веков экспериментальными и термодинамическими методами были получены фундаментальные результаты. С развитием вычислительной техники и численных методов становится возможным проводить математическое моделирование процессов с учетом ионотранспорта, однако такие попытки во многих практически важных случаях наталкиваются на большие трудности, связанные как с физико-химическими проблемами, так и с математическими. Физико-химические трудности обусловлены, естественно, сложностью многопараметрических процессов и недостаточным

уровнем знания, трудности вычислительной стороны определяются громадным числом, появляющимся при обезразмеривании уравнения для потенциала.

Выпишем основные уравнения ионотранспорта в форме [11].

$$\frac{\partial c_j}{\partial t} = \operatorname{div} \vec{J}_j + R_j, \quad (1)$$

$$\vec{J}_j = -D_j \operatorname{grad} c_j - w_j c_j z_j F \operatorname{grad} \varphi + c_j \vec{V}, \quad (2)$$

$$\operatorname{div}(\varepsilon_0 \varepsilon \cdot \operatorname{grad} \varphi) = -F \sum_{j=1}^N z_j \frac{c_j}{M_j}, \quad (3)$$

где t - время, с; c_j - массовые концентрации компонентов; $\vec{V}$ - гидродинамическая скорость среды, м/с; φ - электрический потенциал, В; w_j - скорость миграции ионов, м²/с; D_j - коэффициенты диффузии компонентов, м²/с; M_j - молярные массы, кг/моль; R_j - источник, характеризующий скорость химических реакций с участием j -го компонента; F - число Фарадея, Кул/моль; ε_0 - диэлектрическая постоянная вакуума, Ф; ε - коэффициент диэлектрической постоянной среды; $\vec{J}_j$ - поток j -го компонента; z_j - заряд. В записанной системе уравнение (1) является условием сохранения j -го компонента, второе уравнение определяет величину потока и третье является уравнением Пуассона. Численное моделирование с использованием уравнения (3) наталкивается на большие трудности связанные с тем, что при обезразмеривании его для областей с обычными масштабами (1 мм – 1м), появляется очень большое число, требующее, соответственно очень малого шага интегрирования, которое практически не дает возможности получить результат в масштабах реального времени. Таким образом, математическая жесткость системы, вызванная уравнением Пуассона значительно ограничивает практическую возможность получения решений. Это настраивает исследователей на поиски методов упрощения уравнений для получения необходимого результата. В настоящее время имеется, как бы два основных направления в разработке численных методов. Один из них, в основе которого лежит условие электронейтральности

$$\sum_{j=1}^N z_j \frac{c_j}{M_j} = 0, \quad (4)$$

сформулирован в работах [11, 12]. Согласно этому направлению в дискретизованных уравнениях по известному полю напряжения и начальному распределению компонентов на i – ом шаге определяются концентрации каждого j -го компонента. Принимая далее, что концентрации вычислены с

достаточной точностью, в дискретизованных уравнениях путем удаления одного из членов либо конвективного (метод 1), либо диффузионного (метод 2) составляется уравнение для потенциала, которое затем решается. В следующих двух методах потенциал определяется из каждого уравнения для j -го компонента, а затем усредняется (метод 3 и 4). Помимо этих процедур предусмотрен дополнительный шаг для более точного восстановления электронейтральности. В презентации [13] показана вся совокупность операций, приводящая к решению конвективных уравнений с учетом миграции ионов.

Второе направление разработки методов решения уравнений массообмена (1–3) связано с декомпозицией систем уравнений Нернста – Планка – Пуассона. Идея этого подхода сформулирована в [14], где отмечается, что структура рассматриваемых уравнений такова, что при известном распределении потенциала концентрации компонентов определяются достаточно легко, причем каждому компоненту соответствует свое уравнение, т.е. оно определяется независимо от других компонентов. Таким образом, если считать, что потенциал известен, то декомпозиция уравнений (расщепление) проведена. Однако, сложность заключается в том, что необходимо получить обоснованное распределение потенциала. Этому вопросу посвящено несколько работ исследователей этого направления, например [15, 16]. В какой-то степени идея декомпозиции для уравнений (1–3) в общем случае для бинарного электролита в двумерном пространстве получила завершение в диссертационной работе [17]. В этой работе найдены наиболее общие уравнения, замыкающие процесс декомпозиции. Это в значительной степени устраняет тот недостаток первоначального подхода в рамках этой теории, когда в определении распределения потенциала допускался некоторый произвол. Однако, на наш взгляд, неизбежное по сути метода увеличение степени уравнений, должно приводить к усложнению счетной процедуры и к установлению более сложных граничных условий в задачах. В результате всего этого вопрос о точности решения остается открытым.

Постановка задачи. Примем, что схема разделения потока близка к схеме ячейки гемодиализного аппарата, например [18], но в отличие от этой работы будем рассматривать несколько более простую, т.е. плоскую задачу (рис. 1).

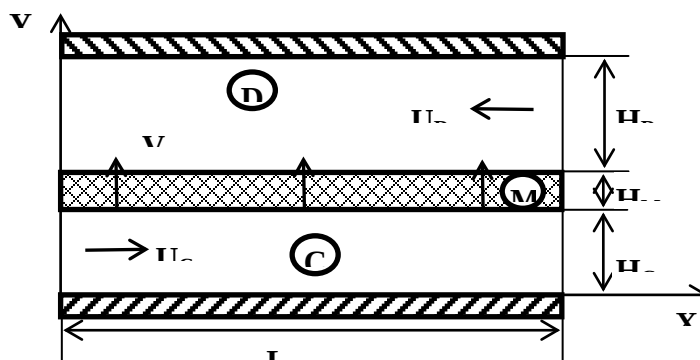


Рис. 1. Схема течения

Будем считать, что концентрации зарядонесущих компонентов невелики и внешнего электрического поля нет. В этом случае пренебрежем влиянием электрического потенциала на скорости потоков, вследствие чего примем, что скорости в каналах и в разделяющей мембране известны и могут быть записаны следующими выражениями:

$$u_C = U_C X_C \eta_C (1 - \eta_C), \quad v_C = -\frac{1}{2} U_C \left(\frac{H_C}{L} \right) \left(\frac{dX_C}{d\zeta} \right) \eta_C \left(1 - \frac{2}{3} \eta_C^2 \right), \quad (5)$$

$$u_D = -U_D X_D \eta_D (1 - \eta_D), \quad v_D = -U_D \frac{1}{6} \left(\frac{H_D}{L} \right) \left(\frac{dX_D}{d\zeta} \right) (1 - 3\eta_D + 2\eta_D^2), \quad (6)$$

$$u_M = 0, \quad v_M = -\frac{1}{6} U_C \left(\frac{H_C}{L} \right) \left(\frac{dX_C}{d\zeta} \right), \quad (7)$$

где $\zeta = x/L$, $\eta_C = y/H_C$, $\eta_D = [y - (H_C + H_M)]/H_D$, x, y - система координат; u_C, u_M, u_D - продольные скорости в каналах; v_C, v_M, v_D - поперечные скорости в каналах; U_C, U_D - масштабы скоростей; X_C, X_D - функции от относительной продольной координаты, характеризующие переток жидкости из одного канала в другой. В нашем случае положим, что поперечная скорость через мембрану постоянна по длине канала, т.е. $X_C = 1 - a_C \zeta$, $X_D = 1 - a_D (\zeta - 1)$, при этом для согласования расходов необходимо условие $a_D = \frac{U_C}{U_D} \frac{H_C}{H_D} a_C$, H_C, H_M, H_D - поперечные масштабы областей; L - длина ячейки.

Выпишем теперь уравнения ионотранспорта (1 – 3) в безразмерной форме (компонент с индексом 1 принимается отрицательным, с индексом 2 – положительным):

$$\begin{aligned} \frac{\partial c_{K,1}}{\partial \tau} + \frac{T}{H_K} \left(u_K \frac{H_K}{L} \frac{\partial c_{K,1}}{\partial \zeta} + v_K \frac{\partial c_{K,1}}{\partial \eta} \right) = \\ = d_{K,1} \left(\frac{H_C}{H_K} \right)^2 \left[\left(\frac{H_K}{L} \right)^2 \frac{\partial}{\partial \zeta} \left(\frac{\partial c_{K,1}}{\partial \zeta} - \kappa_{K,1} \frac{\partial \varphi_K}{\partial \zeta} \right) + \frac{\partial}{\partial \eta} \left(\frac{\partial c_{K,1}}{\partial \eta} - \kappa_{K,1} \frac{\partial \varphi_K}{\partial \eta} \right) \right], \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial c_{K,2}}{\partial \tau} + \frac{T}{H_K} \left(u_K \frac{H_K}{L} \frac{\partial c_{K,2}}{\partial \zeta} + v_K \frac{\partial c_{K,2}}{\partial \eta} \right) = \\ = d_{K,2} \left(\frac{H_C}{H_K} \right)^2 \left[\left(\frac{H_K}{L} \right)^2 \frac{\partial}{\partial \zeta} \left(\frac{\partial c_{K,2}}{\partial \zeta} + \kappa_{K,2} \frac{\partial \varphi_K}{\partial \zeta} \right) + \frac{\partial}{\partial \eta} \left(\frac{\partial c_{K,2}}{\partial \eta} + \kappa_{K,2} \frac{\partial \varphi_K}{\partial \eta} \right) \right], \end{aligned} \quad (9)$$

$$\left(\frac{H_K}{L}\right)^2 \frac{\partial^2 \varphi_K}{\partial \zeta^2} + \frac{\partial^2 \varphi_K}{\partial \eta^2} = \Phi_C \frac{\varepsilon_C}{\varepsilon_K} \left(\frac{H_K}{H_C}\right)^2 (m_1 c_{K,1} - m_2 c_{K,2}), \quad (10)$$

где $\tau = t/T$, $\zeta = x/L$, $\eta = \eta_K$, $d_{K,J} = D_{K,J}/D$, $m_J = M_J/M$, $\gamma = w_J F_J / D_J$, $T = H_C^2 / D$, $\Phi = \rho F H_C^2 / \varepsilon_0 \varepsilon_C M$, индекс $K = C, M, D$ определяет область нахождения рассматриваемого компонента (C – капилляр; M – мембрана; D – диализный канал). Граничными условиями для выписанных величин являются равенства соответствующих концентраций, их потоков по оси y $J_{K,J}^Y$, электрических потенциалов и нормальных составляющих электрической индукции $D_K^Y = -\varepsilon_0 \varepsilon_K (\partial \varphi_K / \partial y)$, которые можно записать в следующем виде (плотности сред в каналах будем считать одинаковыми): на границе $C - M$ будем иметь

$$c_{M,J} = c_{C,J}, \quad J_{M,J}^Y = J_{C,J}^Y, \quad \varphi_M = \varphi_C, \quad D_M^Y = D_C^Y; \quad (11)$$

на границе $M - D$, соответственно

$$c_{D,J} = c_{M,J}, \quad J_{D,J}^Y = J_{M,J}^Y, \quad \varphi_D = \varphi_M, \quad D_D^Y = D_M^Y; \quad (12)$$

на внешних стенках каналов C и D равенство нулю потоков.

Для численных расчетов уравнений (4 – 6) обезразмерим эти уравнения, введя масштаб времени T , коэффициент диффузии D и молекулярную массу M . Используя также длину ячейки и поперечные размеры областей H_C, H_M, H_D , получим безразмерные уравнения (покажем это на примере области C):

$$\begin{aligned} \frac{\partial c_{C,1}}{\partial \tau} + \frac{T}{H_C} U_C \left(u_C \frac{H_C}{L} \frac{\partial c_{C,1}}{\partial \zeta} + v_C \frac{\partial c_{C,1}}{\partial \eta} \right) = \\ = d_{C1} \left[\left(\frac{H_C}{L} \right)^2 \frac{\partial}{\partial \zeta} \left(\frac{\partial c_{C,1}}{\partial \zeta} - \kappa_{C,1} \frac{\partial \varphi_C}{\partial \zeta} \right) + \frac{\partial}{\partial \eta} \left(\frac{\partial c_{C,1}}{\partial \eta} - \kappa_{C,1} \frac{\partial \varphi_C}{\partial \eta} \right) \right], \end{aligned} \quad (13)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial c_{C,2}}{\partial \tau} + \frac{T}{H_C} U_C \left(u_C \frac{H_C}{L} \frac{\partial c_{C,2}}{\partial \zeta} + v_C \frac{\partial c_{C,2}}{\partial \eta} \right) = \\ = d_{C2} \left[\left(\frac{H_C}{L} \right)^2 \frac{\partial}{\partial \zeta} \left(\frac{\partial c_{C,2}}{\partial \zeta} + \kappa_{C,2} \frac{\partial \varphi_C}{\partial \zeta} \right) + \frac{\partial}{\partial \eta} \left(\frac{\partial c_{C,2}}{\partial \eta} + \kappa_{C,2} \frac{\partial \varphi_C}{\partial \eta} \right) \right], \end{aligned} \quad (14)$$

$$\left(\frac{H_C}{L}\right)^2 \frac{\partial^2 \varphi_C}{\partial \zeta^2} + \frac{\partial^2 \varphi_C}{\partial \eta^2} = \Phi_C (m_1 c_{C,1} - m_2 c_{C,2}), \quad (15)$$

где $\tau = t/T$; $d_{C,J} = D_{C,J}/D$; γ - коэффициент подвижности иона [10]; $m_J = M/M_J$, масштаб времени принят равным $T = H_C^2/D$. Получаемый при обезразмеривании коэффициент $\Phi_C = \rho_C F H_C^2 / \varepsilon_0 \varepsilon_C M$, как правило, является громадным числом, что служит большим препятствием для математических вычислений потенциала, что и было отмечено во введении. Другим затруднением при решении системы (13 - 15) является отсутствие в уравнениях производных потенциала по времени. В данной работе используем известный метод решения [19], который применяется с успехом в задачах гидродинамики, например [20]. Он заключается в том, что уравнения для давления дополняются искусственным членом с некоторым релаксационным коэффициентом. В этом случае уравнения становятся параболическими и становятся более удобными для применения различных численных методов. Данный прием привлекает к себе своей простотой и универсальностью и часто используется в задачах технологического направления, в которых процессы изменяются сравнительно медленно для быстроизменяющихся параметров. В работах [22], в которых рассматривался ионотенос, этот метод нашел свое применение и показал свои возможности, однако затруднений связанных с параметром Φ он не снимает, поэтому шаг интегрирования по-прежнему должен оставаться очень малым. С вводом релаксационного коэффициента уравнение (15) может быть переписано в следующем виде:

$$\frac{\partial \varphi}{\partial \tau} = \beta \left[\left(\frac{H_C}{L}\right)^2 \frac{\partial^2 \varphi_C}{\partial \zeta^2} + \frac{\partial^2 \varphi_C}{\partial \eta^2} - \Phi_C (m_1 c_{C,1} - m_2 c_{C,2}) \right], \quad (16)$$

где коэффициент β является искусственной величиной. Расчеты, проделанные в указанных работах, показали, что значения β от 10 до 100 слабо влияют на результат, это связано опять-таки с большой величиной коэффициента Φ . Параболизация уравнения Пуассона указывает на то, что, помимо концентраций, необходимо задать начальные условия и для потенциала. Таким образом, примем, что при $\tau = 0$

$$\begin{aligned} c_{C,1} &= c_{C,1}^*, \quad c_{C,2} = c_{C,2}^*, \quad m_1 c_{C,1}^* = m_2 c_{C,2}^*, \\ c_{M,1} &= c_{D,1} = 0, \quad c_{M,2} = c_{D,2} = 0, \quad \varphi_C = \varphi_M = \varphi_D = 0, \end{aligned} \quad (17)$$

где $c_{C,1}^*$ и $c_{C,2}^*$ являются постоянными величинами, при этом в начальный момент раствор в канале C принимается электронейтральным, о чем сви-

детельствует третье условие в первой строчке (17) (условие электронейтральности) и, соответственно, равенство нулю потенциала. Теперь примем также, что раствор электролита, втекающий в канал С электронейтрален, а жидкость, поступающая в канал D на входе не имеет зарядонесущих компонентов, тогда граничные условия в начале и в конце ячейки можно записать в виде:

$$\begin{aligned} \text{при } \zeta = 0 \quad c_{C,1} &= c_{C,1}^*, \quad c_{C,2} = c_{C,2}^*, \quad \varphi_C = 0; \\ \partial c_{M,J} / \partial \zeta &= 0, \quad \partial \varphi_M / \partial \zeta = 0; \\ \partial c_{D,J} / \partial \zeta &= 0, \quad \partial \varphi_D / \partial \zeta = 0; \end{aligned} \quad (18)$$

$$\begin{aligned} \text{при } \zeta = 1 \quad \partial c_{C,J} / \partial \zeta &= 0, \quad \partial \varphi_C / \partial \zeta = 0; \\ \partial c_{M,J} / \partial \zeta &= 0, \quad \partial \varphi_M / \partial \zeta = 0; \\ c_{C,J} &= 0, \quad \varphi_D = 0. \end{aligned} \quad (19)$$

Таким образом, в соответствии с постановкой задачи рассматривается ситуация, когда бинарный электролит, втекающий в канал С с некоторого времени $\tau = 0$ начинает раздваиваться за счет конвективно-диффузионного переноса через некоторую мембрану с большим сопротивлением. В зависимости от соотношения диффузионной и конвективной составляющих потока здесь возможны варианты образования конвективно-диффузионных потенциалов, причиной возникновения которых является отличие коэффициентов диффузии отрицательных и положительных ионов. Ионы, обладающие несколько большими величинами коэффициента диффузии, должны в большем количестве проникать в канал D и выноситься текущей там жидкостью. Покажем теперь результаты расчетов некоторых вариантов задач, отличающихся друг от друга, как простым перебором задающих параметров, так и более принципиальным характером – механизмом селективности мембран. Далее представлены результаты расчетов модельных задач, в основе которых практически нет конкретных условий и конкретных свойств растворов и компонентов, хотя физические величины берутся в близком соответствии с реальными веществами. Для расчета были взяты следующие величины:

$$\begin{aligned} H_C &= 3 \cdot 10^{-3} \text{ м}; \quad H_M = 5 \cdot 10^{-4} \text{ м}; \quad H_D = 6 \cdot 10^{-3} \text{ м}; \quad L = 0.1 \text{ м}; \quad \rho = 10^3 \text{ кг/м}^3; \quad D = 10^{-8} \\ \text{м}^2/\text{с}; \quad d_{C,1} &= d_{D,1} = 1; \quad d_{D,2} = d_{C,2} = 2; \quad d_{M,1} = d_{C,1}/10; \quad d_{M,2} = d_{C,2}/10; \quad \gamma = 35; \\ \varepsilon_C &= \varepsilon_D = 80; \quad \varepsilon_M = 40; \quad U_C = 0,01 \text{ м/с}; \quad U_D = 0,02 \text{ м/с}. \end{aligned}$$

Неселективная мембрана. Мембрана без стационарного электрического заряда. Примем, что мембрана практически свободно пропускает рассматриваемые зарядонесущие компоненты. На рис. 2 приведены кривые изменения потенциала в различных сечениях ячейки диализного аппарата (на рис. А – потенциал в капилляре, Б – в мембране и на рис. В – в

диализном канале). Из расчета видно, что в капилляре и мембране приведенные кривые практически стационарны, в диализном канале они еще изменяются, при этом максимум потенциала (кривая 1) приходится на середину второй половины ширины канала. На следующем рис. 3 показаны кривые изменения концентраций отрицательного компонента вдоль капилляра на разных расстояниях от мембраны при различных величинах перетока жидкости из капилляра в диализный канал. Для положительной компоненты, как показывают расчеты (здесь это не приведено), в капилляре и мембране практически будет то же самое, т.е. относительные значения положительного и отрицательного компонентов очень слабо отличаются друг от друга.

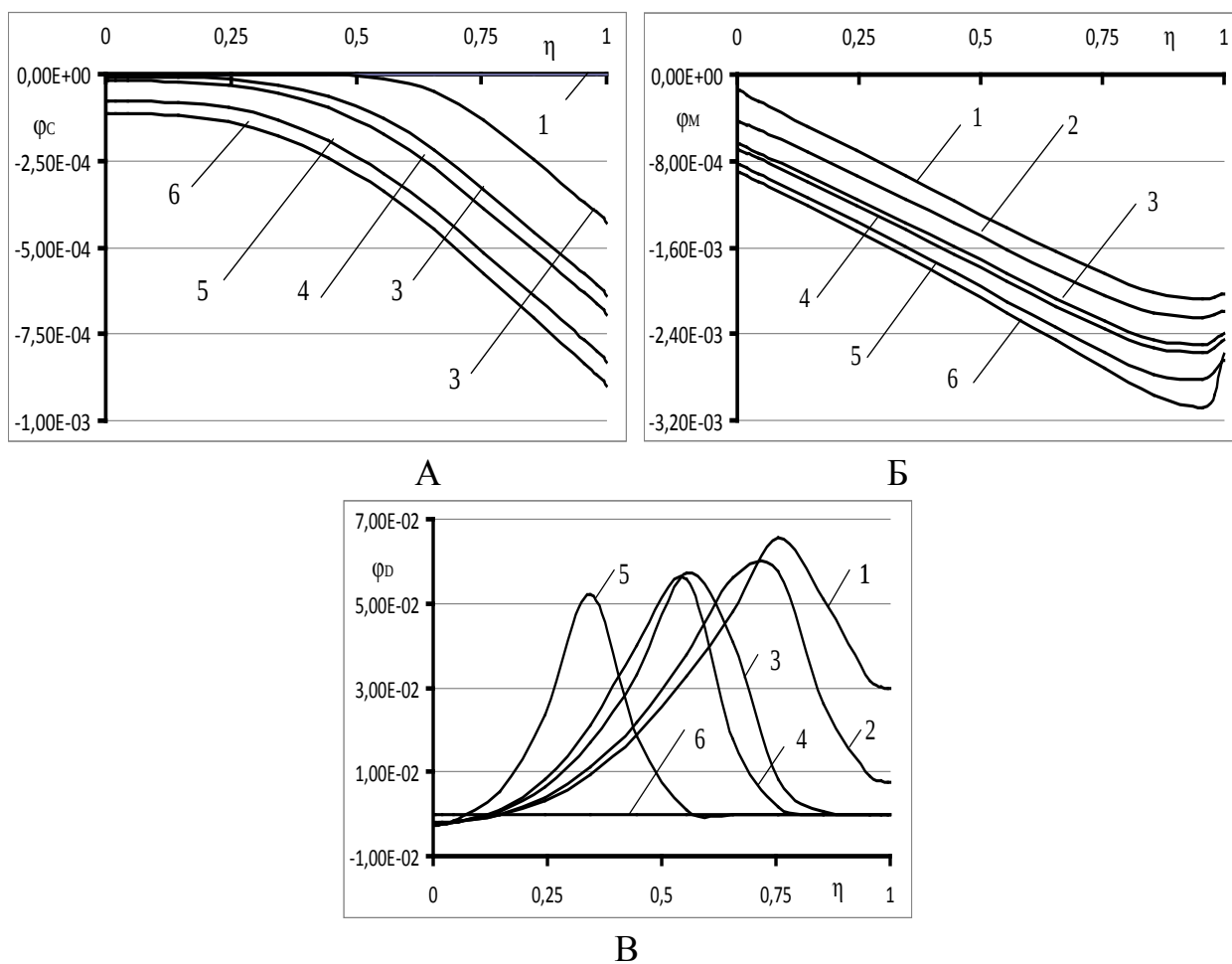


Рис. 2. Изменение потенциала в поперечных сечениях каналов при $t = 1,2$ с для случая $dX_C / d\zeta = 0,05$ (А – капилляр; Б – мембрана; В – канал): кривая 1 - $\zeta = 0$; 2 - 0,145; 3 - 0,445; 4 - 0,555; 5 - 0,855; 6 - 1,0

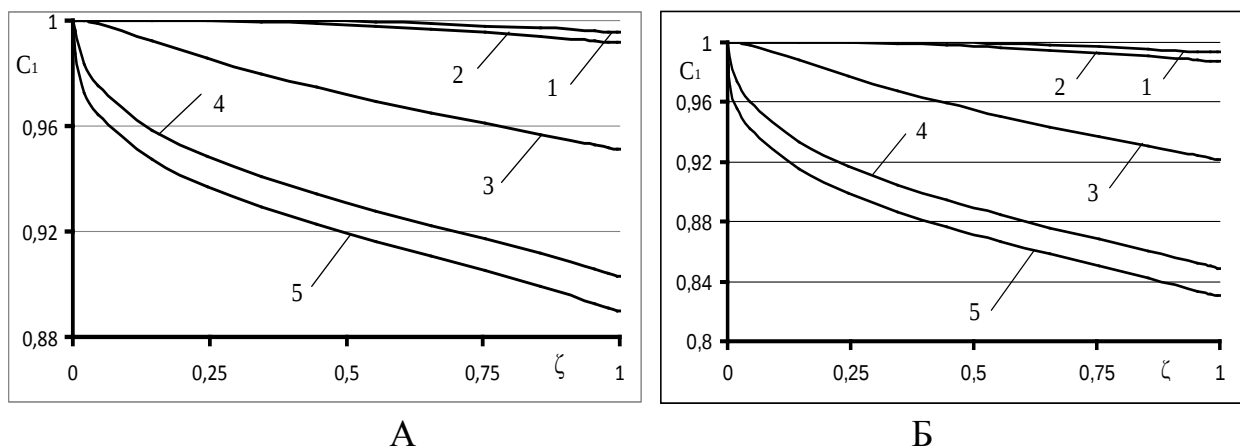


Рис. 3. Изменение относительных концентраций отрицательного компонента вдоль капилляра при $t = 1,2$ с (А - $dX_C / d\zeta = 0,05$; Б - $dX_C / d\zeta = 0,01$):
 кривая 1 - $\eta = 0$; 2 - 0,345; 3 - 0,755; 4 - 0,955; 5 - 1,0

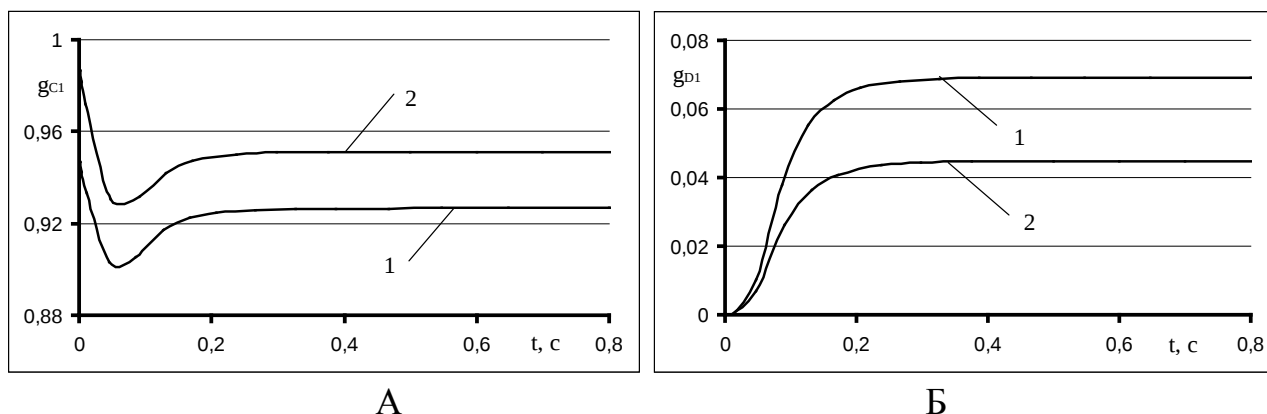


Рис. 4. Изменение относительных расходов отрицательного компонента в выходных сечениях по времени (А – капилляр; Б – диализный канал):
 кривая 1 - $dX_C / d\zeta = 0,05$; 2 - $dX_C / d\zeta = 0,01$

Из рис. 4 следует, что уже при $t = 0,6 - 0,8$ с расходы через выходные сечения достигают своих максимальных значений, при этом сумма относительных выходных расходов для первого варианта равна 0,9957, а сумма во втором случае 0,9960. Эти цифры указывают на то, что ошибка в расчетах примерно составляет 0,4%, что является вполне приемлемой. Из рис. 4 А видно, что при перетоке, характеризуемом величиной $dX_C / d\zeta = 0,01$, в капилляре остается расход 0,9513 от первоначального, для большего перетока величина относительного расхода понижается и во втором случае становится равным 0,9266, т.е. Естественно, увеличение поперечной скорости в мембране (увеличение перетока) приводит к уменьшению расхода через капилляр. Однако, как видно из рис. 3, концентрации отрицательного компонента в

капилляре при более высоком поперечном потоке оказывается несколько выше, чем для более низкого значения поперечной скорости в капилляре.

Мембрана с распределенным объемным отрицательным зарядом. В этом варианте, как бы в противоположность предыдущему, примем, что некоторая группа отрицательных ионов попала в мембрану и забила собой наиболее узкие проходы, в результате чего они (ионы) потеряли подвижность и остались в объеме мембраны. В соответствии с этим мембрана как бы получает некоторый отрицательный заряд, который должен оказывать влияние на движение зарядонесущих молекул, как в ее окрестности, так и внутри нее. В [23] для конкретных мембран установлена зависимость электрического потенциала адсорбированного заряда в мембране в зависимости от объемной доли твердого материала, при этом учитываются морфологические особенности поверхности мембран. Здесь же мы будем рассматривать упрощенную схему расположения зарядов, т.е. равномерную по объему, тогда уравнение (16) перепишем в виде:

$$\frac{\partial \varphi}{\partial \tau} = \beta \left[\left(\frac{H_C}{L} \right)^2 \frac{\partial^2 \varphi_C}{\partial \zeta^2} + \frac{\partial^2 \varphi_C}{\partial \eta^2} - \Phi_C (m_1 c_{C,1} - m_2 c_{C,2} + q) \right], \quad (20)$$

где q - плотность заряда, осевшего в мембране. Примем также, что оставшиеся более широкие каналы мембраны могут свободно пропускать рассматриваемые компоненты. Конечно, в начальный момент мембрана должна быть электронейтральна, но для нашего процесса это не столь важно (в начальных условиях можно не требовать локальной электронейтральности в мембране), т.к. через довольно быстрое время должно наступить некоторое динамическое квази равновесное состояние, которое будет определяться из решения самой задачи. Условия равенства нормальных составляющих электрической индукции также остаются такими же, как (11), (12), т.к. считаем заряд распределенным по объему мембраны, т.е. на границах С – М и М – Д нет поверхностных зарядов.

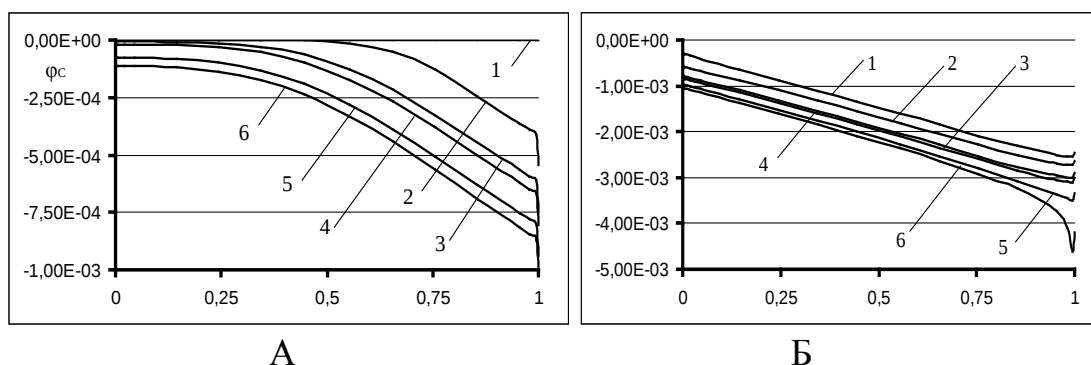


Рис. 5. Изменение потенциала в поперечных сечениях каналов при $t = 1,2$ с для случая $dX_C / d\zeta = 0,05$ и $q = 2,0E-09$ (А – капилляр; Б – мембрана):
кривая 1 - $\zeta = 0$; 2 - 0,145; 3 - 0,445; 4 - 0,555; 5 - 0,855; 6 - 1,0

На рис. 5 показаны кривые потенциала в поперчных сечениях капилляра и мембраны (в диализном канале кривые слабо отличаются от соответствующих кривых на рис. 2 В). При сравнении этих рис. с рис. 2А и 2Б можно отметить, что в данном варианте в непосредственной близости к мембране появляется двойной электрический слой (ДЭС), а потенциал мембраны, по сравнению с предыдущим вариантом, получает заметно отрицательные значения. Появление ДЭС и уменьшение потенциала (вернее увеличение отрицательных его значений), конечно связано с величиной заряда q . Расчеты, сделанные для $q=1,0E-09$ (не показанные здесь) дают несколько промежуточные распределения между рис. 2 и 5. Точность расчета этих вариантов практически не отличается от предыдущего (примерно 0,44%). При этом оставшийся в капилляре относительный расход отрицательного компонента для приведенного значения перетока равен 0,9266, т.е. застрявший заряд в мембране при той же ее пропускной способности изменяет только распределения компонентов, практически не влияя на расходы.

Мембрана с поверхностным отрицательным зарядом. В этом варианте будем считать, что часть отрицательно заряженных молекул, либо адсорбировалась в поверхностном слое мембраны, либо забила наиболее узкие входные участки каналов и стала неподвижной. При этом примем, что толщина такого слоя значительно меньше шага интегрирования по нормали к поверхности, тогда учет поверхностного заряда, согласно закону электродинамики, возможен с помощью расширенного условия (11): $D_M^Y = D_C^Y + \sigma$. Здесь, также, как и в предыдущем случае, динамическое квазиравновесное состояние должно установиться быстро и, оно будет определяться из решения задачи.

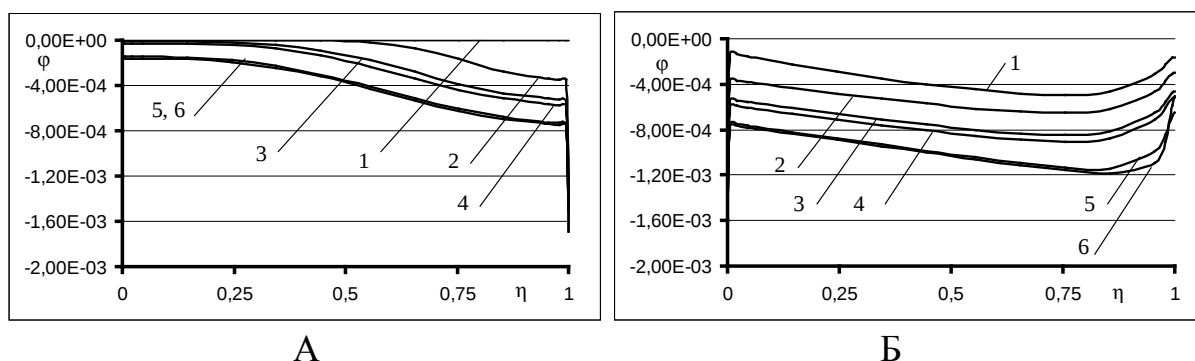


Рис. 6. Изменение потенциала в поперчных сечениях каналов при $t = 1,2$ с для случая $dX_C / d\zeta = 0,01$ и $\sigma = 100$ (А – капилляр; Б – мембрана):
кривая 1 - $\zeta = 0$; 2 - 0,145; 3 - 0,445; 4 - 0,555; 5 - 0,855; 6 - 1,0

Пример расчета показан на рис. 6 и 7. На рис. 6 видно, что ДЭС, вызванный поверхностным зарядом, при приближении к мембране резко опускает величину потенциала в капилляре (А), а в мембране (Б) он также резко поднимает его вверх. Так для кривой 6 минимальное значение потенциала в ДЭС достигает значения $-1,7 \cdot 10^{-3}$ В.

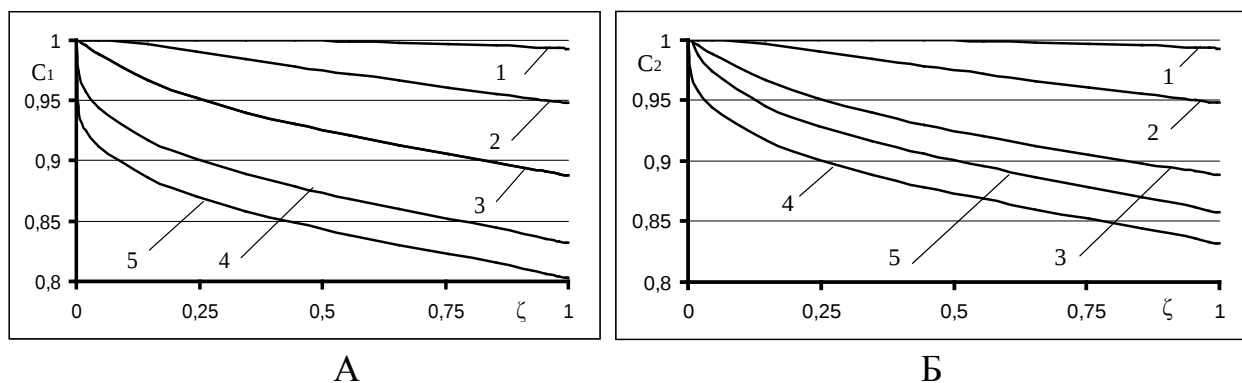


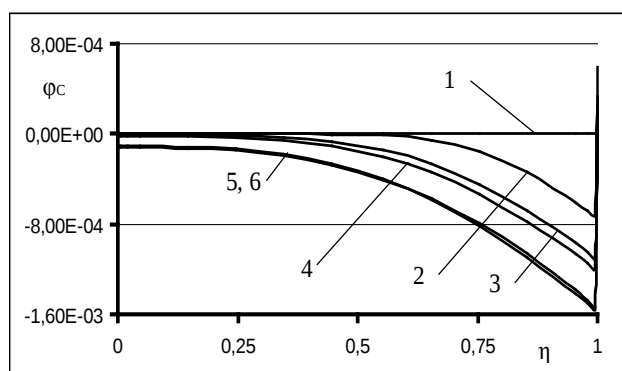
Рис. 7. Изменение относительных концентраций компонентов вдоль капилляра при $t = 1,2$ с при $dX_C/d\zeta = 0,01$ (А – отрицательный; Б - положительный):
кривая 1 - $\eta = 0$; 2 – 0,655; 3 – 0,855; 4 – 0,995; 5 – 1,0

Из рис. 7, на котором представлены кривые компонентов вдоль капилляра, видно, что линии 1, 2, 3, 4 практически совпадают друг с другом, однако кривые 5, проходящие по границе С – М резко отличаются друг от друга. Кривая 5 на рис. 7А проходит ниже всех остальных, на рис. 7Б она располагается выше кривой 4, что свидетельствует о более высокой концентрации подвижного положительного заряда на границе. Следует также отметить, что относительные расходы отрицательного компонента через конечное сечение капилляра и в этом случае такие же как и в рассмотренных выше случаях, т.е. при $dX_C/d\zeta = 0,01 - 0,951$ и при $dX_C/d\zeta = 0,05 - 0,926$.

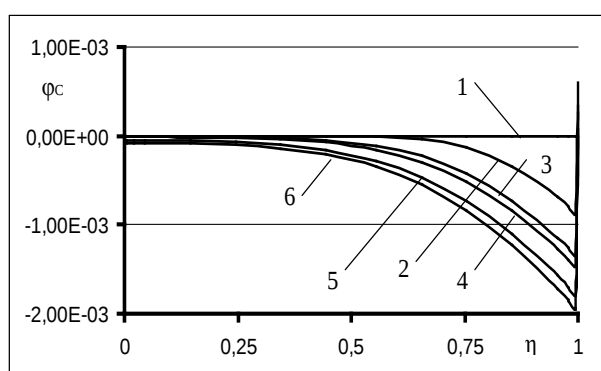
Селективная мембрана. Одним из объяснений селективности мембран в современном представлении является механическое, т.е. она (селективность) обусловлена непроходимостью их канальчиков для достаточно крупных молекул. Не останавливаясь на деталях такого представления, в этом варианте будем считать, что отрицательные ионы, имеющие большую массу и более сложное строение могут при приближении к отверстию мембраны разворачиваться таким образом, что будут срабатывать некие упругие силы, которые не позволят проникнуть в глубь канала мембраны. В этом случае молекула будет отражена мембраной и двигаться дальше вдоль поверхности, пока не повернется таким образом, что свободно пройдет по мембранному каналу. В этом случае, как это делается в литературе, вводится некоторый коэффициент непроходимости α . При этом отрицательный компонент делим на

две группы, которые отличаются друг от друга только тем, что первая из них, составляющая долю $1-\alpha$ от концентрации, подчиняется всем условиям, выписанным выше. Для второй же, имеющей долю α этого компонента, на границе С – М массовый поток из капилляра будет равен нулю. Мембрану считаем незаряженной, т.е. молекулы не забивают собой проходные части в глубине мембраны. По такой модели можно судить о влиянии непроходимости на общую картину ионопереноса и на распределение потенциала в диализной ячейке. Конечно, такая ситуация довольно упрощенная, более того, при сравнительно больших скоростях, молекулы могут быть втянуты в объем, тогда задача будет представлять комбинацию уже рассмотренных выше задач с дополнительными условиями, характеризующими непроходимость.

На рис. 8 показаны кривые распределения потенциала в поперечных сечениях капилляра. Для мембраны и диализного канала распределение потенциала будет качественно близко к показанным выше кривым на рис. 2 Б и 2 В, хотя сами значения величин будут, естественно, отличаться. Здесь же, сравнивая рис. 8Б и 2А, можно заметить, что кривые по характеру в основной части сечения близки, однако практически в самой близости к мембране (при $\zeta \approx 1$) появляется значительный скачок потенциала, что характерно для электрических двойных слоев, образуемых вблизи мембраны [24]. Возникновение ДЭС в этой задаче вызвано поляризацией, связанной с частичной непроходимостью отрицательно заряженного компонента. При этом величина скачка возрастает с ростом скорости поперечного течения и коэффициента непроходимости отрицательного компонента. Такой скачок потенциала в очень узкой области несколько снижает точность расчета (в приведенных вариантах для случая (А) она несколько меньше 0,5 %, а для случая (В) становится около 0,8%).



А



Б

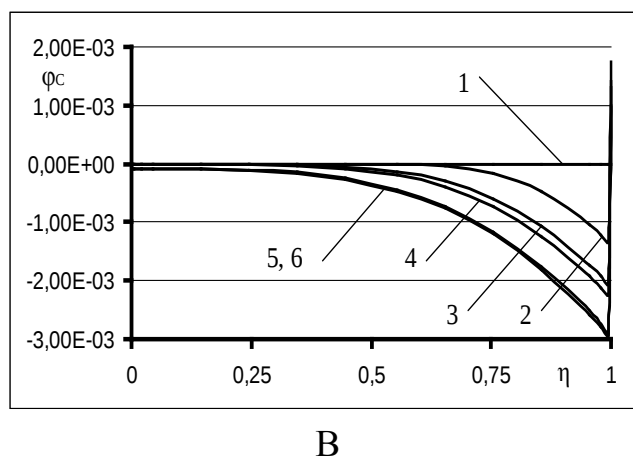
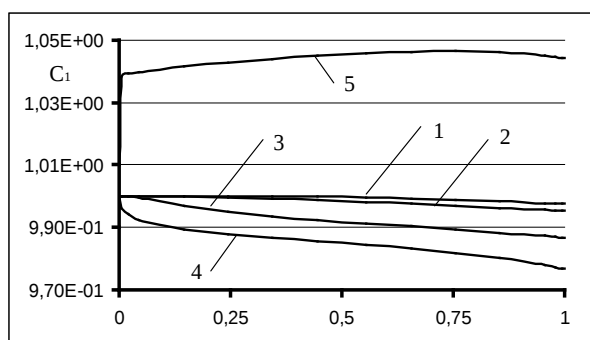
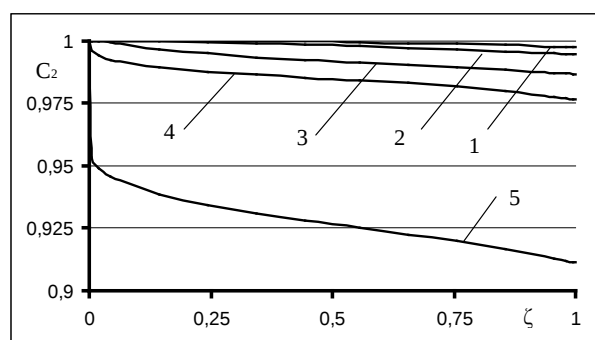


Рис. 8. Изменение потенциала в поперечных сечениях капилляра при $t = 1,2$ с для случаев $dX_C/d\zeta = 0,01$ $\alpha = 0,1$ (А) и $dX_C/d\zeta = 0,05$ (Б – $\alpha = 0,1$; В – $0,2$): кривая 1 – $\zeta = 0$; 2 – $0,145$; 3 – $0,445$; 4 – $0,555$; 5 – $0,855$; 6 – $1,0$



А



Б

Рис. 9. Изменение концентраций положительного и отрицательного компонентов вдоль капилляра при $t = 1,2$ с для случая $dX_C/d\zeta = 0,05$ и $\alpha = 0,1$: кривая 1 – $\eta = 0$; 2 – $0,445$; 3 – $0,755$; 4 – $0,98$; 5 – $1,0$

Как следует из рис. 9 А и Б первые четыре кривые примерно одинаковые для положительного и отрицательного компонентов, кривые же 5, как и в предыдущем примере резко отличаются. Это отличие, естественно, связано со структурой ДЭС вблизи поверхности мембраны (см. рис. 8).

Выводы. Важным выводом из решения рассмотренных задач следует, в принципе известное положение, что электролит практически сохраняет свою электронейтральность. Несмотря на то, что при разделении наблюдается довольно заметные величины потенциалов, особенно в окрестности мембраны, но относительные величины расходов отрицательного и положительного компонентов с большой точностью совпадают друг с другом несмотря на существенное отличие коэффициентов диффузии. Величины потенциалов

зависят от физических особенностей мембраны, т.е. от ее пропускной способности и от плотности поверхностного и объемного неподвижного заряда. Во всех рассмотренных вариантах, как в объеме мембраны, так и в ее непосредственной окрестности, довольно быстро устанавливается квазиравновесное состояние, приводящее затем к согласованию расходов компонентов через выходные сечения каналов. При этом, несмотря на физическое состояние неселективной мембраны относительные расходы компонентов практически зависят только от скорости перетока.

Библиографические ссылки

1. Маркин В.С. Межфазные потенциалы на границе раздела двух несмешивающихся растворов электролитов [Текст] / В.С. Маркин, А.Г. Волков // Успехи химии. 1988. LVII. Вып. 12.- С. 1963 – 1989.
2. Брык М.Т. Мембранная технология в промышленности [Текст] / М.Т. Брык, Е.А. Цапюк, А.А. Твердый. – Киев. Техника. 1990.- 247с.
3. Каграманов Г.Г. Диффузионные мембранные процессы: учебное пособие [Текст] / Г.Г. Каграманов. – М. РХТУ им. Менделеева. 2009. – 73с.
4. Голованева Н. В. Особенности механизма и влияние основных технологических параметров на характеристики нанофильтрационных мембран / Н.В. Голованева // Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.17.18 – Мембраны и мембранная технология. М.: 2015.
5. Стецюк Е.А. Основы гемодиализа [Текст] / Е.А. Стецюк. М. Издательский дом ГЭОТАР-МЕД. 2001, с. 392.
6. Sunny Eloit Experimental and Numerical Modeling of Dialysis. Dissertation submitted to obtain the degree of Doctor in de Toegepaste Wetenschappen. Academic Year 2004-2005, 299p.
7. Julien Aniot, Laurent Chupin, Nicolae Cindea. Mathematical model of calcium exchange during hemodialysis using a citrate containing dialysate. 2017. 32p. <hal-01433150v2> HAL Id: hal-01433150 <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01433150v2> Submitted on 27 Sep 2017.
8. Булат А.Ф. Математичне моделювання конвективно-дифузійного масопереносу в комірці гемодіалізного апарата [Текст] / А.Ф. Булат, В.И. Елисеев, Ю.П. Совит, Р.Н. Молчанов, О.Б. Блюсс // Доповіді НАН України. – 2019. 02.- С. 40-44.
9. Абакумова Т.В. Физиология крови: учебное пособие к практическим занятиям по нормальной физиологии человека для студентов медицинского факультета [Текст] / Т.В. Абакумова, Т.П. Генинг, Н.Л. Михайлова, Д.Р. Долгова, Л.В. Полуднякова. – Ульяновск: УлГУ. 2017. – 58с.

10. Дамаскин Д.Д. Электрохимия [Текст] / Д.Д. Дамаскин, О.А. Петрий, Г.А. Цирлина. – М.: Химия. КолосС, 2006. – 672с.
11. Волгин В.М Численные методы моделирования нестационарного ионного переноса с учетом миграции в электрохимических системах [Текст] / В.М. Волгин, А.Д. Давыдов // Электрохимия. 2001. Т. 37, № 11.- С. 1376 – 1385.
12. Волгин В.М Численные методы моделирования стационарного ионного переноса с учетом миграции в электрохимических системах [Текст] / В.М. Волгин, О.В. Волгина, А.Д. Давыдов // Электрохимия. 2002. Т. 38, № 10. – С. 1177 – 1185.
13. Волгин В.М Развитие теории массопереноса в электрохимических системах: от фундаментальных работ В.Г. Левича до сегодняшнего дня / Презентация. f31_volgin.pdf.
14. Никоненко В.В. Анализ электродиффузионных уравнений в декомпозиционной форме [Текст] / В.В. Никоненко, М.Х. Уртенев // Электрохимия. 1996. Т. 32, № 2. – С. 207 – 214.
15. Бабешко В.А. Декомпозиционные уравнения для одномерного случая стационарного переноса электролита [Текст] / В.А. Бабешко, В.И. Заболоцкий, Р.Р. Сеидов, М.Х. Уртенев // Электрохимия. 1997. Т. 33, № 8. – С. 855 – 862.
16. Бабешко В.А. Теория стационарного переноса бинарного электролита в одномерном случае [Текст] / В.А. Бабешко, В.И. Заболоцкий, Н.М. Корженко, Р.Р. Сеидов, М.Х. Уртенев // Электрохимия. 1997. Т. 33, № 8. – С. 863 – 870.
17. Коваленко А.В. Математические модели электроконвекции в электромембранных системах. / А.В. Коваленко // Диссертация на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 05.13.18 Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ (физико-математические науки). Краснодар: 2016. – 456с.
18. Eliseev V.I. Numerical simulation of the mass transfer in a hemodialysis cell machine / Yu.P. Sovit, R.N. Molchanov // Системне проектування та аналіз характеристик аерокосмічної техніки. Збірник наукових праць. Дніпро. Ліра. 2018. Т. XXV, С. 3 – 13.
19. Chorin A.J. A numerical method for solving incompressible viscous flow problems / A.J. Chorin // J. Comput. Phys. – 1967. – V.2. – Pp 12 – 26.
20. Беляев Н.Н. Оценка уровня загрязнения воздушной среды возле отвала методом вычислительного эксперимента [Текст] / Н.Н. Беляев, П.С. Кириченко // Вісник Дніпропетровського університету. Серія Механіка, Вип. 21, 2017, С. 44 – 51.
21. Елисеев В.И. Диффузионные процессы в порах [Текст] / В.И. Елисеев, Ю.П. Совит // Вісник Дніпропетровського університету. Серія Механіка, Вип. 21, 2017, С. 95 – 103.

22. Елисеев В.И. Диффузионный массообмен в несмешивающихся жидких электролитах [Текст] / В.И. Елисеев, Ю.П. Совит // Системне проектування та аналіз характеристик аерокосмічної техніки. Збірник наукових праць. Дніпро. Ліра. 2017. Т. XXII, С. 40 – 51.

23. Заболоцкий В.И. математическая модель переноса ионов через границу раздела: ионообменная мембрана/сильный электролит [Текст] / В.И. Заболоцкий, К.А. Лебедев, Н.В. Шельдешов, В.И. Васильева, М.А. Каспаров // Научный журнал КубГАУ. 2016. № 124(10).- 33с.

24. Чопчиян А.С. Математическое моделирование электродиффузионных процессов переноса около ионоселективных мембран / А.С. Чопчиян. - Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук. Специальность 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ. – Воронеж. 2010. – 16с.

Надійшла до редколегії 15.03.2019

УДК 378.4(477)

С.А. Давыдов, А.В. Давыдова, В.Е. Шевцов

Днепропетровский национальный университет имени Олеся Гончара

НАУЧНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ КАФЕДРЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И КОНСТРУКЦИЙ

У роботі представлена історія виникнення і перспективи розвитку основних наукових напрямків кафедри проектування та конструкцій літальних апаратів фізико-технічного факультету.

Ключові слова: *науковий напрямок, проектування, конструювання, літальний апарат, ракета-носій.*

В работе представлена история возникновения и перспективы развития основных научных направлений кафедры проектирования и конструкций летательных аппаратов физико-технического факультета.

Ключевые слова: *научное направление, проектирование, конструирование, летательный аппарат, ракета-носитель.*

In activity the technique of accommodation of mesh dividers of phases in reference frameworks with the set level of factor of elasticity which structurally make maintenance system fuel of space flight vehicles is offered.

Keywords: *space vehicles, mesh phase divider, liquid fuel, zero gravity.*

Введение. Создание в Днепропетровске ракетного завода, а со временем и собственного опытного конструкторского бюро (в последствии конструкторское бюро «Южное» (КБЮ)) потребовало подготовки специалистов ракетной отрасли. Для обеспечения конструкторского бюро и завода специалистами-ракетчиками в 1954 году специальным правительственным постановлением создается физико-технический факультет при Днепропетровском государственном университете.

История возникновения научных направлений. Кафедра проектирования и конструкций, созданная в том же 1954 году, сразу же включилась в решение научных и технических проблем, возникающих у проектантов и конструкторов КБЮ. Многие из практических задач переросли в научные направления. Круг решаемых на кафедре проблем становится чрезвычайно разнообразным, охватывающим многие вопросы ракетно-космической отрасли. Для кафедральной научной деятельности стало характерным единство фундаментальных научных исследований с задачами, продиктованными потребностями КБЮ. Исторически первым можно считать научное направление, связанное с оптимальным и рациональным конструированием элементов конструкций летательных аппаратов, которое возглавил заведующий кафедрой, а в прошлом заместитель М.К. Янгеля, профессор Дуплищев М.И. [4].

Результаты его работ известны в нашей стране и за рубежом. В настоящее время исследование вопросов комплексной оптимизации конструкций, выполненных, в том числе и из композиционных материалов, продолжают доцент Линник А.К., ст. препод. Гайдученко П.А.

Это научное направление включает:

- концептуальные разработки новых направлений развития ракетно-космических систем на Украине;
- анализ компоновочных схем ракет-носителей (унификация и разунификация обтекателей; использование автономных головных блоков; альтернативные технологии наземных работ (горизонтальная или вертикальная сборка); оптимизация массы и габаритов топливных отсеков; схемы разделения ступеней; отделение космических аппаратов и сброс обтекателей).
- технология и алгоритмизация проектирования, принципы рационального проектирования, оптимизация параметров сложных технических систем.

В рамках этого направления с середины 80-х развивается системное проектирование объектов ракетно-космической техники. Выполнен значительный объем методических разработок в области теории систем. Следует также выделить в данном научном направлении научно-методическое совершенствование учебного процесса конструкторской направленности.

Ужесточение тактико-технических требований к боевым ракетам привело к выделению актуальных вопросов надежности объектов ракетно-космических в отдельное научное направление. Так, при создании КБЮ ракеты 8К67 заказчиком были впервые предъявлены количественные требования по надежности для всех этапов эксплуатации. В связи с этим на кафедре, под руководством профессора Перлика В.И. начинает развиваться методология количественного анализа надежности систем ракетно-космической техники. В качестве основного метода исследований принят метод функций работоспособности, объединяющий в себе инженерный анализ работоспособности систем и вероятностно-статистическую трактовку их показателей надежности. Это позволило успешно развить практические аспекты расчета надежности объектов ракетно-космической техники. В настоящее время в рамках данного научного направления проводятся исследования по определению надежности технических систем с использованием физических моделей их функционирования.

В 60-е годы прошлого века на кафедре начала формироваться научная школа по теории полета летательных аппаратов, и практике их проектирования и конструирования, основоположниками которой были доцент Натушкин В.Ф. и профессор Дуплищев М.И. [1]. Возникновение этого научного направления непосредственно связано с проблемами, которые возникли при разработке новых изделий в КБЮ.

Доцент Натушкин В.М. вел исследования в области динамики пространственного движения, устойчивости и управляемости самолетов с учетом влияния перекрестных связей. Профессор Дуплищев М.И. развивал

идеи гироскопической стабилизации неуправляемых ракет. Гироскопическая стабилизация позволяла значительно повысить начальную устойчивость и уменьшить рассеивание неуправляемой ракеты, что было подтверждено в ходе летных испытаний. В период плодотворного сотрудничества кафедры с ведущими научно-исследовательскими организациями СССР с целью повышения информативности экспериментов, был выполнен цикл исследований по обеспечению угловой стабилизации исследовательских ракет и отделяемых функциональных элементов по траектории полета.

В настоящее время под руководством профессора Дроня Н.М. проводятся исследования с целью создания теоретических основ проектирования систем угловой стабилизации вращающихся летательных аппаратов на базе теории синхронизации вращающихся и колебательных движений [1].

В начале 60-х годов сложилась критическая ситуация с обеспечением герметичности баллистических ракет, которые ставились на долговременное боевое дежурство и уже в то время заправлялись высококипящими компонентами топлива. «Парили» разъемные и сварные соединения, а в ряде случаев, и поверхности топливных баков. Проблема герметичности соединений распалась на три больших направления: герметичность разъемных соединений, герметичность сварных соединений, герметичность сплошных тонкостенных конструкций [3]. Самое активное участие в решении проблемы долгосрочной герметичности принял коллектив кафедры.

Проведенные совместно со специалистами КБЮ исследования позволили внести существенный вклад в решение проблемы герметичности, разработать ряд инженерных методик расчета герметичности и проектирования разъемных и сварных соединений. Был предложен ряд технических решений, которые нашли широкое использование при разработке баллистических ракет 3-го и 4-го поколений, а также РН «Зенит» и «Циклон».

Еще одним из научных направлений кафедры являются исследования внутрибаковых процессов в условиях нормальной и пониженной гравитации. [2]. В начале 60-х годов США создает систему противоракетной обороны. Для ее нейтрализации в 1962 году в КБЮ на базе ракеты 8К67 разрабатывается новая межконтинентальная ракета 8К69 с орбитальной головной частью. Особенностью этой ракеты является специфическая схема полета, в том числе по траектории искусственного спутника Земли. Новой проблемой при проектировании орбитальной головной части явилось обеспечение запуска двигателя в условиях невесомости. В Днепропетровском госуниверситете создается отраслевая лаборатория гидродинамики невесомости под руководством профессора Макаровой А.С., строится специальный стенд для моделирования условий невесомости, разрабатывается комплекс наземных экспериментальных установок.

В число научных проблем, которые в разное время решались сотрудниками лаборатории совместно со специалистами СНИЛ 216 КБЮ, являлись

- минимизации остатков компонент топлива в баках РН и КЛА;

- повторный запуск маршевых двигателей в условиях невесомости;
- управление положением и сливом топлива из баков в условиях действия переменного поля массовых сил.

На протяжении 30-летнего своего существования коллективом сотрудников лаборатории были выполнены десятки научно-исследовательских работ по государственным заказам, заказам КБЮ и Национального Космического Агентства Украины. Результаты теоретических и экспериментальных исследований лаборатории нашли практическую реализацию при разработке эскизных проектов на блоке Е для Лунного проекта, третьих ступеней РН «Циклон-3» и «Циклон-4», ракеты 11С25 под комплекс «Энергия-Буран», РН «Зенит-3SL» и «Днепр».

Полученные на кафедре за многие годы исследований научные результаты легли в основу монографий, учебников, лекционных курсов и лабораторных практикумов. Опубликовано большое количество статей, как в Украине, так и за рубежом.

Заключение. Перспективы развития. В настоящее время большое внимание в мире уделяется вопросам загрязнения космического пространства и способам его очистки. На кафедре исследованиями в этом направлении занимаются профессор Давыдов С. А., доценты Шевцов В.Е. и Майданюк Д.В. Теоретически и экспериментально изучается динамика и процесс слива остатков ракетного топлива из отделившихся частей РН и разгонных блоков. Основной целью исследований является создание новой концепции проектирования изделий ракетно-космической техники, которая исключала бы загрязнение космического пространства.

Библиографические ссылки

1. Дронь Н.М. Развитие теории полета и ее приложений на кафедре «Проектирования и конструкций»/ Н.М. Дронь // Вісник Дніпропетровського університету. Ракетно-космічна техніка. – 2001. – Вип. 5. – С. 30-37.

2. Макарова А.С. Полвека научно-исследовательской деятельности кафедры проектирования и конструкций ЛА/ А.С. Макарова // Вісник Дніпропетровського університету. Ракетно-космічна техніка. – 2001. – Вип. 5. – С. 26 – 30.

3. Санин Ф.П. Герметичность конструкций ракетно-космической техники / Ф. П. Санин, В. Е. Шевцов // Вісник Дніпропетровського університету. Ракетно-космічна техніка. – 2001. – Вип. 5. – С. 48 – 52.

4. Флагман космічної освіти, або „Секретний” підрозділ – 2: До 60-річчя фізико-технічного факультету Дніпропетровського національного університету імені Олеся Гончара [вітання, нариси, спогади] / Ред. Кол.: М.В. Поляков (голова) та ін. – Д.: Пороги, 2011. – 306 с.

Надійшла до редколегії 03.05.2019

УДК 378.4

В. Ю. Шевцов

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара

ОСВІТНІ ТЕХНОЛОГІЇ В НАВЧАЛЬНОМУ ПРОЦЕСІ ТРЕТЬОГО ТИСЯЧОЛІТТЯ

В роботі представлені основоутворюючі принципи розробки технологій освіти і виховання будівничих цивілізації третього тисячоліття

Ключові слова: *розбудова, навчання, творчість, ідеальна людина, виховання, мета, теорема Ешбі-Гьоделя, золотий перетин, тезаурус, традиції, інваріанти, принципи, мова, мислення, пошук, системність, космічність.*

В работе представлены основополагающие принципы разработки технологий образования и воспитания строителей цивилизации третьего тысячелетия

Ключевые слова: *развитие, обучение, творчество, идеальный человек, воспитание, цель, теорема Эшби-Геделя, золотое сечение, тезаурус, традиции, инварианты, принципы, речь, мышление, поиск, системность, космичность.*

The basic principles of development of technologies of education and education of building civilizations of the third millennium are presented in the work

Keywords: *development, training, creativity, ideal person, education, goal, Ashby-Gödel theorem, golden section, thesaurus, traditions, invariants, principles, language, thinking, search, systematicity, space.*

Вступ.Третє тисячоліття, на відміну від попереднього, є і буде тисячоліттям кроків людства в світ інформації. Інформаційні технології заповнили буття людства, змінюючи його пріоритети і цінності, напрямки розвитку і світобачення в цілому. Але зіштовхнувшись із всеохоплюючим світом інформації, людство буквально тоне в ньому не будучи в змозі відрізнити необхідні й цінні знання від інформаційного шуму і сміття. Особливо вразливим в даному відношенні став освітній процес підростаючого покоління. І в цій непростій ситуації, в пошуках оптимальних базових принципів освітнього процесу, підказку дають класичні розділи знань, такі як математика, фізика та інші природничі науки, побудовані на фундаментальних законах і принципах світобудови. Окресленню і висвітленню подібних фундаментальних принципів в освітніх технологіях третього тисячоліття присвячена дана стаття.

Базові принципи освітнього процесу в вищій школі.

На відміну від розуму інших форм організації матерії, людина не лише пізнає оточуючий Всесвіт, а й моделює його, перебудовує в залежності від задач, які вирішує. В своїй творчості людина створює із існуючого неіснуючі до

того в оточуючій природі структури, об'єкти, системи, розбудовуючи себе і навколишнє середовище під задачі, що ввесь час постають перед людством, а тому людина має вчитись, вчитись і ще раз вчитись. Кожної миті і кожного дня людина має йти шляхом творчості і стати Творцем. І в той же час у процесі пізнання і творчості вона ні на мить не повинна забувати, що вона лише клітинка тої системи, яку називаємо Всесвітом, що вона не має права змінювати Природу і руйнувати її, а повинна жити і діяти за її законами і на її користь; пізнавати і моделювати, але „не шкодити” їй.

На відміну від інших складових біосфери, які від народження мають базовий запас «архетипів – матриць» на подальше існування, людина набуває необхідний запас знань і навичок в процесі пізнання оточуючого середовища і власного навчання. З одного боку людина розвивається як „індивід”, з іншого, як соціальна істота. В людині завжди присутнє і поєднане біологічне і соціальне. Біологічне потребує безмежного егоїзму. Біологічно ідеальною особою є конкурентноздатна в боротьбі за виживання, в боротьбі з іншими подібними і неподібними істотами, здатна не лише вижити за всяку ціну, але й продовжити себе в своїх дітях. Для біологічно ідеальної особи не існує моральних обмежень, єдиний критерій життя – вижити. А вижити можна лише маючи переваги над іншими в силі, в рості, в вазі, в зубах, у рогах, у розумі, в плодovitості, в хитрості, в підступності, в аморальності... В той же час досвід боротьби за виживання підказує, що об'єднавшись можна досягнути більшого. З'являються зграї, табуни, банди, племена, мафії, клани, ордени, партії... Ця вища за організацією система несе не лише переваги, а й обмеження у вигляді моральних і етичних кодексів життєдіяльності члена „банди”, сім'ї, племені, зграї. Життя конкурента, не товариша, не однопартійця не варте і «копійки». З'являється суспільно ідеальна особа, готова пожертвувати всім, навіть життям, задля інших членів „товариства”. В дійсності в кожній людині присутні обидві складові: від ідеального по біологічній суті хижака до глибоко ідеального члена суспільства. Співвідношення між цими складовими в кожній людині дуже різне. Одна людина практично у всьому залишається „хижаком” і, маскуючись під соціальну істоту, використовує на свою користь глибоко соціальні прошарки населення; інша, завдяки вихованню, майже втрачає біологічно індивідуальне і майже стовідсотково стає ідеально соціальною. Якщо перші найчастіше стають лідерами (щоб використати в особистих інтересах інших), то другі є основою організації суспільства в єдине ціле. Саме серед членів останньої категорії з'являються святі і пророки, лікарі і вчителі...

Для стійкості і розвитку системи необхідні надійність, універсальність і різноманіття. Не може існувати суспільство з одних егоїстів, хижаків і з одних „святих”, не здатних до індивідуального самовиживання за будь-яких умов і обставин. Для самовідтворення, розвитку і еволюції суспільства на даний час необхідно мати оптимальне співвідношення індивідуального і соціального, необхідно готувати, виховувати, навчати нових членів суспільства, що будуть ідеальними елементами життєздатної, висококонкурентної системи. Оптимальність співвідношення індивідуального і соціального знаходиться в

множині понять „хочу, можу і треба”, а тому одною із найважливіших задач навчання є вміння розрізняти індивідуально-біологічне „хочу”, соціальне „треба” і відповідність між ними „можу”. Практично ніколи не поєднуються між собою „хочу” і „треба”. Поєднає їх система виховання і навчання, критерієм ефективності якої є рівень „можу”. Система виховання і навчання має розвинути ті індивідуальні риси особистості, що в максимальному ступені задовольняють потреби життєздатного і конкурентноздатного товариства, в більш високому розумінні – гуманітарного суспільства і Людства в цілому.

Кожна спільнота людей об’єднується однією метою, набором необхідного інструментарію і технологій для її досягнення, єдиним моральним (з точки зору конкурентної спільноти - аморальним) кодексом. В кожному товаристві розвиваються і домінують ті риси, ті особливості, які на протязі років і поколінь дозволяють залишатись системі стабільною і життєздатною, риси, що набувають властивостей інваріантів, особливостей незмінних ні за яких зовнішніх змін. Тож кожна система виховання і навчання не є „загальною” і аморфною. Кожна система виховання і навчання в своїй основі має бути цілеспрямованою на відповідність „можу”, що є інваріантом даної системи, даного товариства, даного державного утворення. У відповідності з етнічними інваріантами і під інваріанти того, чи іншого „товариства” формується „можу” конкретного системного навчання, формується високе поняття „мети життя”, що оптимально поєднує природні можливості особистості і соціального „можу” для „треба”. А „треба”, для суспільства, поняття досить широке. Для надійності і стійкості системи необхідні і хлібороби, і виконавці державних інституцій, і вчителі, і безліч інших професій. Відповідно і в залежності від важливості соціальних задач має формуватись „мета життя”(слід зауважити, що, на відміну від усіх інших розумних представників біосфери, „мета”, як абстрактне поняття, присутнє лише людині).

Мета життя (надзадача) має бути максимально можливою і, навіть, неможливою. Згідно з теоремою Ешбі-Гьоделя (вірніше із світовим принципом «надлишковості»), для вирішення задачі необхідно накопичити, достатній запасресурсів, необхідний об’єм знань і технологій, мати необхідний інструментальний багаж і суму навичок, відповідний матеріал і умови. Чим вагомішу, більш високого порядку „Мету” ставить людина в житті, тим більшим запасом знань, технологій, всього необхідного вона має оволодіти, та ще й з деяким запасом. Бо забувши, або втративши хоча б один необхідний елемент, вона не зможе виконати поставлену задачу. Але якщо вона володіє й альтернативними засобами, то завжди можна замінити втрачене іншим і досягти бажаного. Завдяки високій меті людина зростає і підіймається. Чим вища мета, тим більша ймовірність її недосяжності, але – й збільшуються можливості рішення проблемних задач більш низьких рівнів.

Для життєздатності людина повинна набути деяку суму знань про оточуюче середовище, отримати свого роду необхідне для життя „програмне забезпечення”. Із отриманого вона будує свою свідомість так само, як будує собі житло. Із того, що є, одна людина будує собі “хатку”, інша – “палац”.

Хатку будувати просто і швидко. Та, побудувавши задовільне для себе житло, людина рідко й неохоче перебудовує старе, а тим більше будує нове. Подібне спостерігається і при побудові свідомості. Під маленьку мету потрібно мати небагато знань, а просто так людина „зайвого” нести не буде (те ж саме, що замість води нести в пустелю цеглу). Після засвоєння необхідного для життєздатності в “хатці” „програмного” продукту, мінімально-необхідної суми технологій життя, у людини спостерігається явище „цементациї” свідомості. Після „дозрівання бетону” важко, а іноді й неможливо, змінити стан свідомості. В той же час, якщо людина ставить в житті високу Мету, вона може її не досягнути, але за час роботи над нею вона опановує такою сумою знань і технологій, що в своєму розвитку піднімається на декілька поверхів вище. Може „журавля ” і не спіймає в небі, але “синиць” така людина наловить достатньо.

Для того, щоб сформулювати мету життя, необхідні досвід і знання. Але чим пізніше в житті людина ставить собі „мету”, тим менше часу і шансів на її досягнення. Дуже важливо поставити мету в дитинстві, або, найпізніше, в юнацькому віці. Але як це зробити?

Кожна людина від народження має спільне для всього живого програмне забезпечення – архетипи (ейдоси, матриці) на виживання і специфічне, особисте, те, що визначає її Долю, те, що відрізняє її від інших; те, що необхідне для реалізації майбутнього. В кібернетиці існує теорема, згідно з якою система залишається стійкою при наявності стійкого ядра (заданого наперед) законів, принципів, структур, функцій, алгоритмів (технологій). Стійкість системи обумовлюється так званим коефіцієнтом стохастичності, який, за різними оцінками, коливається від 0,25... до 0,38 (до доповнюючого значення золотого перетину, $\phi=0,618...$, до одиниці.). Для стійкості, життєздатності людини необхідно, щоб уже до народження вона мала те програмне забезпечення на майбутнє, яке називаємо „долею”. Тож, якщо людина слідує своєму „програмному забезпеченню”, у неї максимальні можливості реалізації самої високої Мети.

Щоб узнати, усвідомити свої можливості, свій шлях і свою „долю” маємо уважно придивитись до себе. Одним із варіантів прогнозу свого шляху є щоденник, в якому фіксується найважливіше з того, що хочеться не забути, те що сподобалось, те, що хочеться взяти в майбутнє. Це і рядки з пісні, і мудрий вислів, і теорема, і рецепти, і все те, що може „знадобитись”у майбутньому.. Переглянувши такий щоденник через рік – два, можна відразу звернути увагу на домінуючу інформацію і по ній визначити можливі варіанти доленосних напрямків. Звичайно, чим ширший кругозір людини, тим точнішим буде визначення, а тому одною з найважливіших задач навчання є набуття дитиною необхідного для цього інформаційного багажу, (по-грецьки „тезаурусу” – інформаційного багатства). Що ж має включати в себе „тезаурус”?

Зрозуміло, що людський мозок не є бездонним „мішком”, в який можна „скидати” всю інформацію «без розбору». У навчанні існують дві традиції: шумерська (або вавілонська) і грецька. У першому випадку навчання будується

на засвоєнні необхідної кількості рецептів(алгоритмів, технологій) рішення задач, з якими людина зустрінеться в майбутньому в своїй практичній діяльності. В другому подаються основні вихідні положення даного розділу знань (постулати, аксіоми, принципи, закони, уявлення) і прививається уміння створювати з них необхідні технології за законами логіки, аналогій, асоціацій, гармонії, симетрії, доречності. Зрозуміло, що конкретні, уже перевірені практикою рецепти, більш оптимальні на даний момент, бо не вимагають часу і зусиль для розробки і перевірки. В той же час грецька традиція краща для розробки нових технологій, визначення поведінки в неочікуваних ситуаціях, в пошуку оптимальних рішень в нових умовах. Вавілонська традиція – це швидкість, надійність, економність, але це й топтання на місці, приреченість на другорядну роль в еволюції. Тож, як і у всякій справі, в навчанні має бути оптимальне співвідношення між цими двома підходами. Особливо, якщо враховувати різні природні дані людини і різний базис знань, набутих нею за попередній час. Але і в тому, і в іншому випадку важливу роль для подальшого відіграє цінність і кількість набутої інформації. Яку ж інформацію має засвоїти учень у першу чергу?

Фізики знають, що розділ „механіка” побудований на трьох законах збереження: енергії, кількості руху (і її зміні - імпульсу) та моменту кількості руху. Всі ці закони є наслідками більш загального принципу в природі – принципу оптимальної дії. Якщо учень, чи студент знає і розуміє фізичну суть цих законів, знає закон тяжіння і володіє апаратом математичного аналізу (уміє користуватись похідною і інтегралом), то для нього зрозуміла і механіка, і всі розділи знання, побудовані на ній. В кожному розділі знань завжди є ті вихідні положення, ті підвалини, ті принципи, на яких будується вся споруда цього розділу. В електродинаміці це рівняння Максвелла, закон Кулона і, як інструмент, теорія поля; в термодинаміці – рівняння стану, співвідношення Онзагера і принципи оптимальності (мінімуму і максимуму) виробництва ентропії. Подібні принципи і закони є (як уже говорилося вище) у всіх розділах знань про оточуючий Всесвіт; а тому в основі кожної моделі лежать один або декілька системних принципів. Якщо людина засвоїть ці фундаментальні закони і принципи, розуміння структур, що утворюють оточуючий Всесвіт, їх природу, то їй буде легко орієнтуватись у якому завгодно розділі знань. І не лише орієнтуватись, але й стати активним творцем, розробником нових технологій, нових системних уявлень; особливо в тих областях знання, що ще не пройшли періоду формалізації, або побудовані на невірних вихідних положеннях.

Надзвичайно важливу роль у навчанні і вихованні дитини відіграють умови її життєдіяльності. Згідно з принципом Короленко-Кюрі формування особистості надзвичайно глибоко пов'язане з навколишнім середовищем. Свого часу Короленко писав: «якщо оселити принца в конюшні, то він не заспокоїться доти, доки не наведе там хоча б якийсь лад, необхідний для проживання; якщо ж оселити в палаці конюха, то він теж не заспокоїться доки не перетворить палац в конюшню». Існує глибока взаємовідповідність між станом душі і

свідомості людини та навколишнім середовищем (згідно зфізичним принципом Кюрі середовище переформовує об'єкт під себе, але й об'єкт змінює середовище, в якому знаходиться). Дбаючи про навчання дитини, чи майбутнього спеціаліста, маємо потурбуватись про те, щоб вони мешкали і навчались в умовах максимально наближених до майбутньої спеціальності. І тоді не лише вчитель, а все навколишнє оточення активно формуватиме майбутню творчу індивідуальну особистість. Якщо дитина щось вчить, але не користується результатами навчання, не розуміє їх необхідності і не відчуває в них потреби, вона дуже швидко набуває до них „імунітет”, і не лише не вчиться, а й старається позбутись того, чого не використовує, що є просто „тягарем”. Зрозуміло, що ефективність подібного навчання буде дуже низькою, навіть при талановитості вихователя і вчителя. Вся організація суспільства від сім'ї і школи до вищих навчальних закладів і державних інституцій має відповідати задачам виховання і навчання. І не лише організація суспільства, а й пріоритети, що надаються тій, чи іншій справі, тій, чи іншій професії, надзвичайно сильно впливають на розвиток і навчання дитини, на ефективність навчання.

Доскладу навколишнього середовища відносяться не лише предмети побуту і люди, з якими спілкується учень, а й мова спілкування. Говорячи про мову спілкування і навчання, маємо зупинитись на трьох її аспектах. До першого слід віднести гармонію мови. Не буде перебільшенням сказати, що гармонія мови породжує гармонію мислення. Багата за змістом гармонійна мова дозволяє створювати надзвичайно складні і гармонійні моделі. Прикладом може бути наша рідна українська (вона ж руська не просто за назвою, а й за історичним походженням), в якій заради гармонії часто плаває наголос в словах, а після приголосної бажана голосна і навпаки; мова, в якій практично відсутні різні, обривисті фонемосполуки. Лінгвісти давно досліджують закони будови мов, в тому числі і частоту вживання різних фонем. Відомо, що всі індоєвропейські мови, пішли від мови наших предків (як і всіх білих народів взагалі) санскриту. Вважається, що прабатьківщиною орійських (білих) народів було Причорномор'я. Саме звідси розходились індоєвропейські народи по земній кулі. Змінювалась територія помешкання народу, змінювалась і частота вживання тих, чи інших фонем. Найближчою з існуючих мов до санскриту залишилась українська, в якій збереглося більше тисячі коренів слів санскритського походження. Зміни в частотному спектрі зумовлюються територіальними умовами (умовами помешкання) і місцевим фоном взаємодії з магнітним полем Землі. Так само, як і магнітне поле Землі, робота нашого мозку (і свідомості) пов'язана з ритмами. Інтенсивність, ступінь наближення до поверхні, структура магнітного поля планети різні по регіонах і по-різному впливають на роботу мозку, на гармонію мислення і його ефективність. Не буде перебільшенням висновок про те, що людина, яка народилась на даній території, має говорити на мові, що склалась на цій території, бо лише за цієї умови ми можемо „спілкуватись із космосом”.

Від частоти вживання фонем, від законів будови мови, від можливості і повноти контакту з біопланетарним „комп'ютером” планети (магнітним полем) залежить їх інформативна навантаженість і ефективність. У розвинутих мовах навантаження на одну букву (а, відповідно і фонему) сягає 4 - 5 біт. Набагато більшої інформативності сягають іконічні (ієрогліфічні) символи, що несуть в собі змістовність речень, сторінок, і навіть цілих розділів знання. Вживання ієрогліфів – символів в писемній мові робить її надзвичайно економною, інформативною, компактною, але, водночас, і застиглою, заформалізованою. Ієрогліфічні за змістом і написанням символи не повинні змінюватись, щоб їх розуміли всі користувачі. В той же час ієрогліф позбавляє мову варіативності, фантазії, пошуку. Мова ієрогліфів гарна для швидкого і ефективного навчання тому що є, але не для пошуку нового. І так само, як існує оптимальне співвідношення між вавілонською і грецькою традиціями в навчанні, так існує оптимальна частота вживання іконічних і фонемних символів в писемній мові. Подібна ситуація і з третім аспектом мовного питання, з логікою будови мови і висловлюваннями. Абсолютна логіка висловлювань формалізує мову, робить її форми і зміст застиглими, а тому на рівні мовних структур використовуються й інші засоби формування змісту і висловів, а саме: асоціації і аналогії, образність і досвід (те, що ми називаємо інтуїцією). Співвідношення між сталою частиною і змінною в мовних структурах задається коефіцієнтом стохастичності. Фізична природа коефіцієнту стохастичності полягає в оптимізації вибору шляху рішення задачі. Якщо значення цього коефіцієнту менше оптимального, варіативна частина задачі по відношенню до сталого ядра інформації мала і задача практично без пошуку інших засобів вирішується відомим способом. Якщо ж значення цього коефіцієнта більше оптимального, то внаслідок великої кількості можливих варіантів виконавець буде довго блукати в пошуках рішення і взагалі може не вирішити поставлену задачу. Коефіцієнт стохастичності визначає співвідношення між творцями і виконавцями, між лідерами і послідовниками, між перспективним і існуючим, між стабільним і нестабільним! В процесі навчання коефіцієнт стохастичності визначає співвідношення між обов'язковими і новими предметами, а в предметі між темами та швидкістю введення нових понять і алгоритмів в цих темах, між полем обов'язкової інформації і пошукової творчої діяльності розуму.

В залежності від задач навчання визначається і співвідношенням між різними його складовими. Якщо хочемо отримати професіонала в конкретній області, необхідно до мінімуму скоротити варіативну, стохастичну частину процесу навчання, а саме навчання вести за відпрацьованими технологіями, за ієрогліфічною формалізованою схемою. Якщо ж хочемо отримати дослідника, вченого, творця, першопрохідця, то перш за все маємо навчити учня думати. Учень має раз і назавжди засвоїти, що знання, які він отримує сьогодні не є істиною в кінцевій інстанції, що прогресивна модель на даний момент завтра може виявитись не лише неприйнятною, а й невірною взагалі; що критерієм істинності може бути лише власний досвід людини і людства. Учень має

розуміти, що кожна задача може бути вирішена багатьма різними засобами, що ніколи не можна повністю довіряти отриманій інформації, бо не існує інформації незацікавленої, не спрямованої на конкретну, корисну для когось справу. Навчивши дитину думати, ми можемо бути впевнені, що вона уже ніколи не буде „зомбі”, що вона не стане частиною табуна, якого жене „пастух” (часто на бійню), не буде „маріонеткою” в планах і діях не кращої частини суспільства (особливої карної влади злочинних кланів). Ми можемо бути певні, що така людина ніколи не нашкодить ні іншим, ні навколишній природі. Людина, яка думає, уже має наполовину екологічне мислення, бо друга частина набувається у процесі виховання і навчання.

Необхідно не просто навчити дитину думати, а ще й використовувати думку і знання для творчості. І тут ми підходимо до ще одного важливого аспекту навчання – як вчити! В більшості навчальних закладів якість навчання досягається за рахунок кількості вирішених задач, розроблених проектів, виконаних домашніх завдань. Та найчастіше все це виконується за відомими технологіями і алгоритмами, без простору для власної творчості і винахідливості. Подібна технологія навчання гарна для набуття професійних навичок виконавця, але не для виховання і зростання творчої особистості. Творча особистість зростає на шляху власної творчості, власної думки, власної фантазії, власного пошуку. А тому, показавши учню як побудовані задачі даного розділу, необхідно доручити йому самому скласти кілька нових задач; розказавши про будову вірша – дати завдання написати самому кілька віршів, і так у кожному розділі навчання.

Другим важливим моментом у процесі навчання має бути увага до узагальнень, системності, переходу думки на більш високі системні рівні, до космічності мислення. Прикладом значимості цього моменту може бути порівняння рівнів думки комбайнера і президента. У комбайнера майже всі думки, вся інформація зосереджена на території в декілька квадратних кілометрів. Він може знати практично все про життя рослин, по кліматичні умови і місцеві особливості, знати вдосконалість всю сучасну землеробську техніку і багато чого іншого. За об’ємом інформації він може знати на порядок більше від президента, але він ніколи не буде президентом, бо у президента інший рівень мислення, рівень системності країни. Президент може нічого не знати конкретного і нічого не вміти окрім одного: він повинен відчувати країну, як шофер авто; відчувати, коли „додати газу”, а коли загальмувати, має вправно керувати „системою”. І те, що для комбайнера може бути нездоланою перешкодою, для президента лише невеличка дрібниця, що не варта уваги. Бо для комбайнера поле довжиною в кілька кілометрів безкрає, а для космонавта - вся планета зовсім невелика. На Сході (за висловом О. Реріх) кажуть: не має бога, який би не був людиною. У нас існує інший вислів: нікчемний козак, що не мріє бути гетьманом. В перекладі на сучасний рівень можна сказати так: хочеш бути „богом” - учись, учись і учись, іди по шляху навчання і творчості, і ти станеш ним. Коли у людини виникає цільова думка, вона стає „центром конденсації” і, згідно з теоремою Ешбі–Гюделя, навколо неї починають

„збиратись” необхідні знання, навички, технології. Чим вища мета, чим більший рівень складності її досягнення, тим вагоміші досягнення людини в житті. Учня необхідно вчити системності і космічності мислення.

І ще на один момент необхідно звернути увагу – на роль фантазії в процесі навчання. Для пошуку оптимальних шляхів в рішенні задач бажана різноманітність, варіативність шляхів думки, її несподіваність, неординарність, не традиційність, що не можливо без фантазії. Фантазії необхідно вчити, як і всякій іншій справі, і скрізь, де тільки можна, запропонувати дитині несподівані варіанти, необхідно запрошувати її до фантазії думки і дійства.

Висновки. Розглянуті моменти, як і все, про що йшла мова вище, має багато інших аспектів. У кожного досвідченого і талановитого педагога багато своїх „секретів” у технологіях навчання і виховання. Задачею автора було звернути увагу читача на особливості технологій підготовки неординарних особистостей, дослідників, творців, членів суспільства майбутнього, людей з системними поглядами на оточуючий Всесвіт і космічним рівнем мислення, без яких неможлива розбудова не лише нової України, а й людства в цілому.

Бібліографічні посилання

1. Ортинський В. А. Педагогіка вищої школи. –К. Центр учбової літератури, 2009, -472с.
2. Калашнікова Л. М., Жерновникова О. А. Педагогіка вищої школи. – Харків, 2016, -260с.
3. Шевцов В. Ю. Скарбниця. –Дніпро, -«АРТ-ПРЕС», 2005, -260с.

Надійшла до редколегії 11.04.2019

УДК 37.01

А.К. Линник, О.О. Балдін

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара

ПРО МОТИВАЦІЮ СТУДЕНТІВ ДО НАВЧАННЯ У ВИЩИХ ТЕХНІЧНИХ НАВЧАЛЬНИХ ЗАКЛАДАХ: НАДБАННЯ ВИКЛАДАЧА ТА БАЧЕННЯ СТУДЕНТА

Наголошено на надзвичайній важливості забезпечення високого рівня мотивації студентів до навчання. Сформульовано низку пропозицій щодо форм і методів викладання технічних дисциплін. Пропозиції спрямовані на підвищення інтересу і творчої активності студентів під час аудиторних занять, виконання індивідуальної роботи та контролю набутих знань і вмінь.

Ключові слова: *мотивація до навчання, активність, викладач, студент.*

Подчеркнута исключительная важность обеспечения высокого уровня мотивации студентов к учебе. Сформулирован ряд предложений относительно форм и методов преподавания технических дисциплин. Предложения направлены на повышение интереса и творческой активности студентов во время аудиторных занятий, выполнения индивидуальной работы и контроля приобретенных знаний и умений.

Ключевые слова: *мотивация к учебе, активность преподаватель, студент.*

Exclusive importance of support of high level of motivation of students to studies is emphasized. A number of offers concerning forms and the methods of teaching of engineering subjects are formulated. The offers are directed on increase of interest and creative activity of students at the time of group studies, individual work performance and the control of the acquired knowledge and abilities.

Keywords: *motivation to studies, activity, lecturer, student.*

Вступ

У зв'язку зі зниженням престижу інженерно-технічних спеціальностей сьогодні наше суспільство знаходиться в такому стані, коли головним бажанням багатьох студентів технічних ВНЗ є не набуття знань та навичок, а отримання диплому про вищу освіту. В результаті зараз, як ніколи раніше, проблема підвищення рівня мотивації молодих людей до навчання постає надзвичайно гостро.

Метою цієї статті є формулювання пропозицій щодо бажаних форм та методів проведення лекцій, практичних занять та індивідуальної роботи, а також контролю знань, спрямованих на підвищення зацікавленості студентів до навчальної активності.

Дана робота має суттєву особливість, яка полягають в тому, що її авторами є двоє: - досвідчений викладач спецдисциплін з ракетно-космічної техніки та його допитливий небайдужий студент. Тому запропоновані аспекти методології навчального процесу, а також важливі моменти відносно мотивації студентів

до навчання описані не тільки, як зазвичай, педагогом, а й нетрадиційно інтерпретовані зі студентської точки зору.

Лекційні заняття

В переважній більшості випадків лекція, маючи найвищий статус, демонструє найнижчий рівень зацікавленості студентів, порівняно з іншими видами занять - практичними, лабораторними та ін.. Відповідно, проведення лекцій потребує особливої уваги з точки зору підвищення мотивації студентів до навчання.

На думку авторів, доречно буде підкреслити деякі особливості такої форми занять, як лекції. Очевидно, студентам на лекції не цікаво те, що їм не зрозуміло. Тобто, не розуміючи матеріалу, студенти просто найчастіше займають позицію очікування у стані псевдо уваги, сподіваючись потім скласти іспит (певні хитрощі дозволяють зробити це часом без наявності відповідних знань). Буває, що мають місце прояви показної активності студентів, але найчастіше через сумбур та невизначеність предмету обговорення результат також нульовий.

Найвідвертіший прояв відсутності у студентів мотивації до навчання під час лекції – явище банального засинання студентів на останніх рядах. Студенти, що сплять, або майже сплять під час лекції, зовсім не мають метою продемонструвати неповагу до лектора - вони часто фізіологічно не можуть утримати свою увагу на достатньому рівні. Переважно лектора сприймають лише декілька студентів, інші механічно пишуть диктант (якщо пишуть взагалі). Трапляються навіть випадки, коли лектора не розуміє жоден (!) студент. Відмінники на перших партах при цьому лише періодично роблять кивки головою, щоб підтримати статус розуміючого студента. У студентів автоматично складається враження, що причина нерозуміння ними матеріалу криється в них самих (деякі викладачі своєю манерою викладання активно сприяють цьому багатьма методами).

Свідомий відмінник, незадоволений собою, спробує все ж таки розібратися самостійно, або прийде на консультацію, на що викладачі частково розраховують. Але це відмінник, і в кращому випадку. Можна з високою вірогідністю припустити, що на сьогодні рівень свідомості 80% відмінників не достатній, щоб зробити це, тому вони, не бажаючи втратити статус лідерів, користуються іншими методами отримання високих оцінок (детально про це - пізніше).

А що ж коїться під час такої лекції у свідомості середніх за успішністю студентів, а тим паче у відсталих, які бачать начебто(!) розуміючих відмінників, а самі взагалі нічого не можуть збагнути?! Мають місце вагомі причини виникнення найсерйозніших проявів комплексу неповноцінності, що може призвести до вкрай небажаних наслідків. Про яку мотивацію до навчання може йтися після такої «лекції»?

Наведений приклад є, звичайно, багато в чому гіперболізованим. Трапляються випадки, коли студенти проявляють високий інтерес до певної дисципліни, активно приймають участь у процесі викладання матеріалу,

демонструють високі результати на іспитах; але така картина, на превеликий жаль, не є домінуючою.

Безперечно неприпустимо, коли лекція нагадує монолог лектора, а студентів в аудиторії він в цей час взагалі не помічає. Не дивно, що студенти край неохоче відвідують подібні заходи. Монолог лектора, як правило, не передбачає контролю засвоєння матеріалу «в режимі реального часу», окрім, мабуть, автоматичних запитань у простір: «Чи зрозуміло?», на які лектор отримує таку ж автоматичну відповідь: «Так». На думку авторів, така форма проведення лекційних занять є неприйнятною з точки зору ефективності навчання, тому що фактично виключає будь-яку зацікавленість студентів до активних дій.

Принципово, лекція може проходити без жодного запитання чи зауваження з боку студентів, але лише за умови, що лектор віртуозно передбачає запитання студентів, одразу дає повні відповіді на них, роблячи, наприклад, коментарі в складних для розуміння моментах. Ймовірно, деякі викладачі вважають себе такими віртуозами, перетворюючи свою лекцію на монолог та роблячи коментарі або доповнення лише там, де на їх (!) думку, матеріал складніший. Але часто трапляється, що лектор робить пояснення саме там, де все і так зрозуміло, і навпаки, прискорюється в складних для розуміння місцях, іноді, навіть, обурюючись тим фактом, що хтось із студентів його не розуміє.

В свою чергу відсутність активності студентів, зовсім не означає, що студенти не можуть цю активність проявити. Все що необхідно лекторові – це вміння зацікавити студентів. З першої і до останньої лекції треба стимулювати студентів до активності та постійно контролювати темп викладання, відповідно до спроможності засвоїти студентами нового матеріалу.

На думку авторів, існує дуже вдалий інструмент для одночасного стимулювання студентів до активності та контролю засвоєння ними лекційного матеріалу. Вказаний інструмент – це створення під час лекції атмосфери діалогу між лектором та аудиторією. Організувати такий діалог можна багатьма способами, наприклад, системою запитань. Хоча, очевидно, єдиного прийому на всі випадки життя не існує, тому лектор повинен застосовувати фантазію, підходити до кожного потоку індивідуально. Вкрай бажано запровадити незвичний принцип індивідуального підходу до колективу (а не тільки до конкретного студента).

Тут обов'язково треба звернути особливу увагу на таку обставину, котру, доречі, випускають із виду більшість викладачів, коли ставлять запитання до аудиторії: - діалог потрібно вести з максимальною кількістю студентів в аудиторії, а не лише з двома-трьома відмінниками (яким, доречі, іноді буває корисно послухати інших). Вся специфіка даної форми проведення лекції як раз і полягає у вмінні лектора підібрати такі запитання в аудиторію, щоб на них охоче прагнула відповісти більшість студентів в аудиторії. Лектор, при цьому, послідовно дає слово кожному бажаному, ведучи його до пошуку правильної

відповіді. Таким чином кожний студент за допомогою лектора починає фізично відчувати свою спроможність до аналітичного мислення.

Важливими проявами майстерності лектора є недопущення атмосфери «базару» в аудиторії, дотримання відповідності вимог робочої програми змісту матеріалу, що викладається, а також спонукання до повного і чіткого оформлення конспекту з виділенням ключових положень предмету вивчення.

Але головне, все ж таки, вміти заохотити студентів до пізнання ними матеріалу за об'ємом більшим та за тематикою ширшою, ніж ті, що можуть містити лекції. Через жорстку обмеженість програмної тривалості лекційних занять часто головною турботою викладача є прагнення «встигнути пройти весь матеріал». Як свідчить багаторічний досвід викладання, щоб розширити межі лекційного матеріалу, найкраще використовувати принцип, згідно з яким процес пізнання має супроводжуватися відчуттями напруженості та радості. Щодо напруженості зрозуміло, а радість на лекціях студенти можуть відчувати завдяки вмінню лектора застосувати цілу низку прийомів. Вони можуть бути різними в залежності від специфіки технічної дисципліни, але до універсальних слід віднести такі:

- з самого початку переконати слухачів, що дана дисципліна не є складною (або надскладною);
- для кожної теми лекції надавати контекстну інформацію про цікаві проблеми та/чи оригінальні рішення, що траплялися раніше в ході реалізації існуючих проектів, але формулювати їх лише у загальному вигляді, заохочуючи слухачів прикласти зусилля до детального вивчення в самостійному порядку;
- умисно робити похибки в принципових положеннях, щоб перевірити увагу та реакцію аудиторії тощо.

Досягши справжньої зацікавленості студентів, можна поступово організувати роботу вдома, в бібліотеці та на консультаціях, бо неодмінно має запрацювати відомий у педагогічній практиці принцип ефективного навчання **УІБД** у вигляді послідовності «Увага» - «Інтерес» - «Бажання» - «Дія» (англ. **AIDA**, тобто «**Attention**» – «**Interest**» – «**Desire**» – «**Action**»).

Засвоївши, умовно, половину лекційного матеріалу в аудиторії, студент, що має справжнє зацікавлення та навіть ентузіазм, з задоволенням виконуватиме певний обсяг роботи самостійно. Важливо лише постійно долучати до роботи максимальну кількість студентів, тоді навчання стане подібним (у доброму розумінні) до стадного інстинкту.

Практичні заняття та індивідуальна робота

Очевидно, головною метою проведення практичних (лабораторних) занять та виконання індивідуальних робіт (курскових проектів, завдань та ін.) - далі практичних робіт - є опанування студентами певних навичок з вирішення тих чи інших задач, що постають на практиці у обраній технічній галузі. З точки зору мотивації до навчання, практичні роботи традиційно користуються більшою популярністю, порівняно з лекціями. Однак, існує хронічна проблема з самостійністю виконання завдань, тому є сенс спочатку відзначити певні особливості вказаних робіт.

Практична робота відрізняється однією важливою рисою - поставлена перед студентом задача повинна мати дійсно практичний характер, бути максимально наближеною до умов реального життя. Це дуже важливо з точки зору мотивації до самостійного виконання, тому що студент відчуватиме практичну корисність тієї роботи, котру виконує, особливо якщо мова йде про курсовий проект. На думку авторів, курсовий проект є найвдалішою формою практичної роботи студентів.

Однією з найважливіших рис курсового проекту є можливість індивідуального підбору завдання, що, в свою чергу, дає можливість повною мірою реалізувати вимогу реалістичності задачі, що виконується. При цьому слід враховувати; індивідуальні здібності студента, його бажання і можливості; плани щодо місця майбутнього працевлаштування чи характеру нинішньої роботи (зараз багато студентів підробляють під час навчання); схильність до аналітичної чи творчої праці (ступінь розвитку лівої чи правої півкулі мозку), або навіть обґрунтоване бажання працювати с кимось у парі і таке ін.. Найкращим варіантом буде той, коли кожний студент сам пропонує конкретну тему проекту з числа принципово можливих, окреслених керівником (викладачем). Таким чином, індивідуальний підбор курсових завдань для студентів є важливим кроком до їх мотивації.

З іншого боку, з метою групової зацікавленості студентів до виконання роботи, важливо організувати процес передачі досвіду з вирішення задачі між самими студентами. Це, перш за все, робота в групах над окремими задачами, публічний звіт стосовно зробленої роботи, обговорення проблем, що виникають на певних етапах виконання роботи, захист курсового проекту перед аудиторією. Робота в групі є надзвичайно ефективною з точки зору мотивації студентів до навчання, оскільки активує механізм відповідальності перед колективом. Форми цієї групової роботи визначає викладач, залежно від характеру завдання, особливостей матеріалу, що вивчається, особистих якостей студентів, тощо.

Важливо всіма доступними методами активувати механізми публічної взаємодії між студентами в групі та між ними і викладачем під час виконання практичних робіт. Доречі, публічна форма консультацій, періодичні групові звіти та захисти курсового проекту перед аудиторією значною мірою зменшують шанси студентів виконати роботу не самостійно.

Контроль набутих знань та вмінь

Контроль знань та вмінь (підсумковий або поточний) взагалі відіграє особливу роль в навчальному процесі, оскільки за відсутності мотивації до навчання, студенти шукають (і часто знаходять) способи отримати позитивну оцінку, не маючи при цьому відповідних підстав.

Однією з головних проблем нашої системи освіти є плагіат, зокрема списування. Через низку суспільно-політичних причин, що склалися історично, ми свідомо не поглиблюємось у внутрішній психологічний фактор цього явища. Відмітимо лише, що фактично жодні ризики не зупиняють деяких студентів на шляху відвертого списування. Це й не дивно: надто велика спокуса

провести семестр, демонструючи байдужість до навчання і взагалі неповагу до навчального закладу, а потім здати на відмінно більшість іспитів (за рейтингом обійшовши при цьому нещасних відмінників) і спокійнісінько собі продовжувати байдикувати весь наступний семестр.

Залишається лише здогадуватися, що подумає роботодавець про той навчальний заклад, який видав диплом ось такому випускникові. Тож списування необхідно зруйнувати як явище.

Взагалі, боротьба з неповажними методами отримання позитивних оцінок нагадує гонку озброєнь: - студенти проявляють справжню геніальність, вдосконалюючи методи списування (особливо сьогодні, коли з'явилися різного роду гаджети). Тому посилювати жорсткість умов проведення іспитів немає сенсу. Більше того, це певною мірою навіть шкідливо, бо збільшується психологічний тиск на свідомих студентів.

Найефективнішим шляхом подолання такого явища, як списування автори бачать у наступному: - треба передбачити обов'язкову співбесіду за результатами контрольної (або екзаменаційної) письмової роботи. Співбесіда значно зменшує шанси брехуна на успіх.

Також надзвичайно важливо структурно змінити зміст модульних (екзаменаційних) завдань таким чином, щоб не примушувати студентів списувати. В якості прикладу можна привести завдання (білети) з вимогою пам'ятати величезну кількість складних формул. Часто навіть найкращі студенти не можуть вивчити і половини формул з деяких дисциплін. Тому пропонується вимогу вивчення чи виведення складних та громіздких формул замінити якісним аналітичним їх поясненням. Хоча це зокрема....

В цілому ж важливе одне: - якщо викладачі мають намір одержати перемогу над списуванням, перш за все необхідно надати студентам можливість скласти іспити без титанічних зусиль. Дуже справедливо в цьому контексті виглядають ідеї, розповсюджені в європейському навчальному середовищі, коли весь курс з певної дисципліни складається не одним іспитом, а розбивається на декілька модулів.

Висновок

Автори запропонованих вище пропозицій щодо підвищення мотивації студентів до навчання, солідарні з відомим висловом про те, що:

«...студент – це не посудина, яку треба наповнити, а факел, який треба запалити».

Бібліографічні посилання

1. Заброцький М. М. Педагогічна психологія / М. М. Заброцький. – К., 2000. – 356 с.
2. Занюк С. С. Психологія мотивації : Навчальний посібник / С. С. Занюк. – К. : Вид. «Либідь», 2002. – 304 с

Надійшла до редколегії 20.04.2019

УДК 536.24

В.І. Ліповський

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара

МЕТОДОЛОГІЧНІ ПІДХОДИ ДО ВИВЧЕННЯ БУДІВЕЛЬНОЇ МЕХАНІКИ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ (ЛА)

У статті представлені методологічні підходи до вивчення базової інженерної дисципліни «Будівельна механіка ЛА». Виконано обґрунтування використання системного аналізу та синтезу при вивченні дисципліни, як основи формування конкурентно спроможних майбутніх інженерів.

Ключові слова: методологічні підходи, системний підхід, будівельна механіка літальних апаратів.

В статье представлены методологические подходы к изучению базовой инженерной дисциплины «Строительная механика ЛА». Выполнено обоснование использования системного анализа и синтеза при изучении дисциплины, как основа формирования конкурентно способных будущих инженеров.

Ключевые слова: методологические подходы, системный подход, строительная механика летательных аппаратов.

The article presents a methodological approach to the study of the basic engineering discipline "Structural mechanics of the aircraft." The substantiation of the use of systems analysis and synthesis in the study of discipline, as the basis for the formation of competitive future engineers, was carried out.

Keywords: methodological approaches, systems approach, building mechanics of aircraft.

Вступ. Курс «Будівельна механіка літальних апаратів» є одним з базових інженерних курсів для підготовки бакалаврів за напрямом спеціальності «Авіація і ракетобудування» на кафедрі проектування та конструкцій фізико-технічного факультету ДНУ ім. О. Гончара.

Метою курсу є вивчення методів визначення навантаження на ЛА та розрахунків на міцність основних елементів конструкції. Ознайомлення з основними поняттями нормування міцності ЛА; вивчення методів визначення навантажень на елементи конструкції ЛА та розрахунків на міцність. Результати навчання формують основи інтегральної, загальної та спеціальної компетенції, а саме:

- здатність розв'язувати комплексні проблеми в галузі авіаційної і ракетно-космічної техніки, у тому числі дослідницько-інноваційної діяльності, що передбачає глибоке переосмислення наявних та створення нових цілісних знань та професійної практики;

- здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу;

- здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел;

- здатність приймати обґрунтовані рішення при виконанні проектно-конструкторських робіт, плануванні та здійсненні експерименту, розробці технологічних процесів виготовлення нової техніки;
- здатність проведення досліджень в галузі проектування, випробувань та виробництва ракетно-космічної техніки.

Методологічні підходи до вивчення курсу. Сучасна інженерна освіта повинна готувати системного інтегратора, який здатен синтезувати і здійснювати нововведення (інновації), поповнювати свої знання протягом усієї трудової діяльності і адаптуватися до швидких технологічних змін на світовому ринку. Ця необхідність ще диктується й особливостями ринкової економіки, в умовах якої професійне інженерне майбутнє не настільки певне. Молодий інженер буде мати справу з новими технологіями, які ще не існують, але, проявляючись, швидко будуть впроваджуватися у виробництво, ініціюючи потребу в відповідних інженерах. Прикладом є поява та впровадження за останні п'ять років нових адитивних технологій, а за останні 15 років використання САЕ систем у проектно-конструкторських та наукових роботах.

Процес вивчення побудований на загальноприйнятих принципах, формах, структурі, логічній організації, методах та засобах реалізації мети підготовки бакалаврів. Види робіт при вивченні дисципліни такі: аудиторні - лекції, лабораторно-практичні заняття, наукові семінари; самостійні – розрахунково-графічні роботи, самопідготовка. При самостійному вивченні розділів, повторенні лекційного матеріалу, підготовці до лабораторних і практичних занять, а також при поточному контролі студенти використовують навчальні посібники кафедри підручники, монографії інших авторів [1-10].

Основний напрям у підготовці майбутніх інженерів є побудова системного сприйняття до об'єктів курсу «Будівельна механіка ЛА». Методи вивчення курсу – аналіз та синтез є основою системного підходу до аналізу міцності, стійкості та жорсткості конструкцій ЛА. Яскравими ілюстраціями аналізу в курсі є: подання реальної конструкції літального апарату у вигляді розрахункової схеми. Прикладом синтезу є перехід від дослідження напружено-деформованого стану окремого стержня в опорі матеріалів до стрижневий системі (рамі, фермі, арці і їх комбінацій) в будівельній механіці. При вивченні конкретного об'єкта дослідження, як правило, аналіз і синтез використовуються одночасно, оскільки вони взаємопов'язані. Основною формою такого зв'язку є моделювання. При створенні моделі предмети або явища, що становлять певну сукупність, які об'єднують їхні властивості і характерні ознаки. Наприклад, розподіл стрижневих систем на рами, ферми, арки, арочні ферми, вантові системи і т. п. Чи, наприклад, бак – це сукупність оболонок, розпірних шпангоутів та силових елементів. Синтез дає можливість об'єднувати предмети або знання про них, тобто здійснювати систематизацію. Системний підхід дозволяє глибше синтезувати знання про предмет, повніше розкривати його взаємозв'язку з іншими предметами.

В теорії пружності добре відома мембранна аналогія. З її допомогою вирішено багато досить складних задач. Наприклад, завдання про розрахунок

пластинок на поперечний згин, стійкість В цих випадках використовується аналогія в математичній записи явищ вигину мембрани і пластини, тобто всі ці завдання можуть бути описані однією математичною моделлю. Математична модель дозволяє побудувати інженерну методику розрахунку на міцність, стійкість та жорсткість елементів конструкцій ЛА. Математична модель ЛА складається з розрахункової схеми ЛА і методів розрахунку.

Розрахункова схема ЛА - спрощене уявлення ЛА (абстракція). Воно досягається за допомогою геометричного моделювання ЛА, моделювання впливу зовнішнього світу та фізичного моделювання поведінки матеріалів конструкції. Для виконання геометричного моделювання виконують аналіз конструктивно компоувальної схеми ЛА. При аналізі використовують наступні геометричні примітиви: стрижень, пластина, оболонка, масивне тіло. Аналізуючи силові потоки, структурно виділяють елементи конструкції і моделюють їх примітивами. Наприклад, конструктивні елементи (корпус, днище, бак ...) моделюють за допомогою оболонок і пластин; стрінгер, раму, а також елементи з'єднання - за допомогою стрижня, шпангоут - за допомогою кільця тощо. На цьому етапі виконується декомпозиція конструкції. Конструкція буде складатися з елементів, побудованих за допомогою геометричних примітивів пов'язаних між собою за допомогою внутрішніх зусиль. Внутрішні зусилля виступають зовнішніми навантаженнями.

При виконанні моделювання впливу зовнішнього світу на конструкцію, вплив замінюють навантаженнями. Вони можуть бути наземними і польотними. Головними розрахунковими вважають польотні: діючі в момент старту, навантаження під час максимального швидкісного напору, навантаження під час поділу ступенів, скидання обтічника, в разі входження в атмосферу. Кожне поєднання цих навантажень визначає розрахунковий випадок.

Навантаження за характером можуть бути зосереджені, поверхневі, об'ємні. Крім того, можуть бути активні і реактивні, статичні і динамічні. Будь-яка змінна статичного навантаження може бути динамічною і може бути визначена власною частотою коливання. Якщо частота коливань зовнішнього навантаження дорівнює двом-трьом періодам тривалості власних коливань, то таке навантаження називають динамічною. Якщо більше чотирьох-п'яти, то змінне навантаження називається статичною. У цей випадку з'являється накопичення пошкоджень, яке призводить до появи мікротріщин конструкції (втома). Якщо час дії менше часу проходження звукової хвилі, то воно називається ударним.

В курсі будівельної механіки головним конструктивним елементом розглядаються пластина і оболонка в умовах статичного навантаження. Для опису поведінки і реакції конструкції на зовнішній вплив використовують фізичне моделювання поведінки матеріалу. Кожна модель визначається властивостями матеріалу (теплових і силових навантажень). Для побудови моделей використовують діаграми деформації, повзучості, витривалості термомеханічної поверхні механізму. Фізична модель будується на підставі припущення про властивості матеріалу. Якщо конструкція працює за межами

пружності, то найчастіше використовують пружні рішення, які ітераційно уточнюються по діаграмі деформації. Працездатність конструкції ЛА визначається для всіх розрахункових випадків. На етапі ескізного проектування розрахунковим є найбільш несприятливе поєднання навантажень. Для цього поєднання визначається розрахунковий параметр працездатності, який порівнюється з допускаємим. Приведений опис побудови розрахункової схеми представлено на рис. 1.



Рис. 1 Приклад аналізу та синтезу конструкцій ЛА

Систематизація викладання всіх аспектів курсу є основою успішного засвоєння теоретичного та практичного матеріалу курсу. Зворотний зв'язок між викладачем і студентами при вивчанні курсу виконують за допомогою практичних, лабораторних занять, а також за допомогою поточного контролю. Поточний контроль проводиться за допомогою бально-рейтингової системи. Ця система дозволяє проводити підвищення якості навчання за рахунок інтенсифікації навчального процесу, формування культури самостійної освітньої діяльності студентів і активізації роботи професорсько-викладацького складу щодо вдосконалення змісту і методів навчання.

Основними завданнями введення бально-рейтингової системи є:

- підвищення мотивації студентів до освоєння загальноосвітньої програми за рахунок більш повної диференціації оцінки результатів їх навчальної діяльності;
- формування навичок самоорганізації навчальної праці у студентів;
- вдосконалення моніторингу поточної роботи студентів в семестрі;
- підвищення об'єктивності оцінок освоєння студентами дисципліни (модулів) при проведенні поточної та проміжної атестації;
- виявлення інтересів студентів та планування наукової студентської роботи.

Інтегрування бально-рейтингової оцінки вивчення курсу з рейтинговою системою факультету дозволяє адміністрації виявляти найкращих студентів до подання їх кандидатур на іменні стипендії фонду Леоніда Даниловича Кучми, та фонду Віктора Пінчука, виконувати частично профорієнтаційну роботу по майбутньому працевлаштуванню студентів. Поточний контроль виконують за допомогою тестових питань та задач.

Висновки. Аналіз, синтез та моделювання конструкцій літальних апаратів допомагає формувати у студента системне мислення, та навички рішень проектних, перевірочних інженерних задач механіки деформованого твердого тіла. Своєчасна перевірка знань допомагає студентам успішно засвоїти навчальний матеріал та підвищити якість навчання.

Бібліографічні посилання

1. А.Г. Макаренков, Ю.И. Саввин, Р.Д. Красникова Расчет на прочность подкрепленных тонкостенных конструкций. Пособие по курсовому и дипломному проектированию, Дн-ск, ДГУ, 1986.
2. Методичні вказівки до виконання курсових робіт по курсу «Будівельна механіка ЛА», скл. Краснікова Р.Д., Линник А.К. Дн-ск, ДНУ, 2011 – 30 с.
3. Ліповський В.І. Конспект лекцій з курсу «Будівельна механіка ЛА», Дн-ск, ДНУ, 2018 - 120с (електронний варіант).
4. Балабух Л.И., Алфутев Н.А., Усюкин В.И. Строительная механика ракет М.: Высш. шк., 1984. – 391с.
5. Лизин В.Т., Пяткин В.А. Проектирование тонкостенных конструкций. М.: Машиностроение, 1985 – 343 с.
6. Проектування і конструкція ракет-носіїв /В.В. Близниченко, Є.О. Джур, Р.Д. Краснікова, Л.Д. Кучма, А.К. Линник та інш.– Д.: Вид-во ДНУ, 2007. –504с.
7. Прочность ракетных конструкций /В.И. Моссаковский, А.Г. Макаренков, П.И. Никитин и др. – М.: Высш. шк., 1990. – 359 с.
8. Прочность, устойчивость, колебания. Справочник в 3-х томах, том 1. Под ред. Биргера И.А., Пановко Я.Г. М.: Машиностроение, 1968 – 831 с.
9. Строительная механика ЛА /И.Ф. Образцов, Л.А. Булычев, В.В. Васильев и др. - М: Машиностроение, 1985 – 536 с.
10. Усюкин В.И. Строительная механика конструкций космической техники. М.: Машиностроение, 1988 – 392 с.

Надійшла до редколегії 25.04.2019

УДК 378.4

В. Ю. Шевцов

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара

ТЕХНОЛОГІЇ ПРОЕКТУВАННЯ І КОНСТРУЮВАННЯ ТЕХНІКИ І ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

В роботі розглянуті найбільш важливі принципи оптимального проектування та раціонального конструювання, а також закони еволюції складних технічних систем і об'єктів із врахуванням психології творчості проектанта і конструктора.

Ключові слова: *техніка, конструювання, проектування, принципи, структура, працездатність, надійність, життєзабезпечення, кореляція, закони будови, психологія, творчість.*

В работе рассмотрены наиболее важные принципы оптимального проектирования и рационального конструирования, а также законы эволюции сложных технических систем и объектов с учетом психологии творчества проектанта и конструктора.

Ключевые слова: *техника, конструирование, проектирование, принципы, структура, работоспособность, надежность, жизнеобеспечение, корреляция, законы строения, психология, творчество.*

The work deals with the most important principles of optimal design and rational design, as well as the laws of evolution of complex technical systems and objects, taking into account the psychology of creativity of the designer and designer.

Keywords: *engineering, design, designing, principles, structure, efficiency, reliability, life support, correlation, laws of structure, psychology, creativity.*

Вступ. Якість проектування і конструювання яких завгодно об'єктів багато в чому залежить від досвіду проектанта-конструктора та інформаційно - технологічних засобів, якими він користується. Але, найчастіше, проектант-конструктор користується не стільки кращими технологіями розробки нових об'єктів, скільки копіюванням, модифікацією і екстropolізацією уже існуючих технологій. В той же час, на сьогодні, існує і затосовується значна кількість базових принципів проектування і конструювання. До останніх належать і так звані принципи оптимального (іноді їх називають раціонального) проектування і конструювання. Розглянемо деякі з тих, що використовуються, а також ті, на які необхідно звертати увагу при проектуванні складних технічних систем.

Принципи раціонального проектування і конструювання.

1. Об'єкт, чи система, що проектується, має відповідати структурі зовнішнього середовища. По відношенню до суспільства це їх відповідність інформаційно-технологічному середовищу, рівню кваліфікації проектантів,

технологів і обслуговуючого персоналу, наявність можливостей розробки, виробництва і експлуатації відповідно умовам функціонування. При цьому необхідно врахувати рівень складності системи, гармонійній її відповідності зовнішнім чинникам, а також часу перебудови системи при зміні умов або задачі функціонування.

Процес вивчення побудований на загальноприйнятих принципах, формах, структурі, логічній організації, методах та засобах реалізації мети підготовки бакалаврів. Види робіт при вивченні дисципліни такі: аудиторні - лекції, лабораторно-практичні заняття, наукові семінари; самостійні – розрахунково-графічні роботи, самопідготовка. При самостійному вивченні розділів, повторенні лекційного матеріалу, підготовці до лабораторних і практичних занять, а також при поточному контролі студенти використовують навчальні посібники кафедри підручники, монографії інших авторів [1-10].

2. Ентропія системи (а відповідно і життєздатність) мінімальна при мінімумі перехідних процесів в системі. З метою зменшення кількості перехідних процесів і їх впливу на час функціонування бажано:

- знизити потоки робочого тіла, енергії і інформації;
- використовувати однорідні і ізотропні зв'язки, бажано одної фізичної природи;
- на вхідних і вихідних потоках енергії і речовини передбачити накопичувачі енергії та демпфери перехідних процесів.

3. Функції системи мають бути оптимально розподілені між її конструкціями. Для цього необхідно звернути увагу на мінімізацію функцій їх поєднання в одній конструкції (багатофункціональність), а також на важливість тої чи іншої функції в схемі роботи системи. При цьому набувають значення питання:

- скільки і яких функцій можна віднести до тої чи іншої конструкції, з тим, щоб використовуючи її можливості покращити умови функціонування;
- які функції залишити в системі, а які винести назовні (або відокремити взагалі);
- як розділити систему на підсистеми по рівнях будови за показниками максимальної надійності і ефективності, модульності і незалежності підсистем та вибору відповідного коефіцієнта розгалуження по рівнях будови.

4. Кожна система має передбачувати механізм відновлення працездатності. В складних системах необхідно передбачити:

- механізм виносу поломок назовні і постановки працездатних елементів на місце тих, що вийшли з ладу;
- в самій системі (або зовні) запас необхідних елементів для заміщення;
- зв'язки в системі мають забезпечувати достатню рухомість елементів конструкції при відновленні працездатності.

5. Складна система повинна мати систему керування, відповідну її стійкості в межах функціонування. Для реалізації задач керування необхідно мати два блоки (дві підсистеми) інформаційного забезпечення системи керування. Набір стандартних модулів-матриць на функціонування систем і

набір модуль-матриць на виконання задачі. Особливостями будови складної системи є наявність (якщо не має – передбачити):

- годинника (камертона, ведучої скрипки), резонатора системи;
- ієрархії керування; співрозмірності швидкостей; часу подачі сигналів керування та їх порогових значень;
- наявність механізму зворотного зв'язку.

6.Кожна система повинна мати поверхню розділу з зовнішнім середовищем по всіх параметрах, що можуть впливати на її працездатність (геометричні поверхні, поверхні поділу функцій, площини розмежування, мембрани та тому подібне). При цьому поверхні можуть бути непроникними і частково проникними для різних потоків і елементів. Розміри і масштаби системи мають бути оптимізовані під функції системи і умови виконання задачі (кілька малих систем можуть вирішити задачу одної великої і навпаки).

7.Час існування системи має відповідати часу виконання поставленої задачі. Якщо час існування буде меншим – зростають затрати на ремонт, або на побудову іншої системи; якщо більшим – не раціональні затрати з самого початку. Забезпечення необхідного часу підпорядковується низці питань:

- забезпечення оптимальної якості в необхідний момент;
- забезпечення необхідного рівня надійності елементів і зв'язків між ними;
- оптимізації співвідношення між параметрами функціонування і параметрами зовнішнього середовища;
- досягнення оптимальної якості в необхідний момент;
- досягнення оптимумів підсистем в послідовності алгоритмів функціонування.

8.Якщо в системі використовуються підсистеми, що побудовані на різних за фізичною природою елементах, зв'язках і потоках, бажано викликати їх вплив одна на одну. При цьому слід звернути увагу на те що:

- механічні підсистеми можуть бути статичними і динамічними;
- енергетичні підсистеми можуть будуватись на незмінних і змінних в часі потоках енергії;
- інформаційні підсистеми можуть працювати на власній, внутрішній інформації і на потоках ззовні;
- всі підсистеми мають бути гармонізовані в просторі і часі.

9.Система повинна мати, як загальний так і поелементний показник надійності одного значення, що забезпечується:

- елементами одного рівня надійності;
- зв'язками одного рівня надійності;
- оптимальною архітектурою системи і оптимальним розподілом функцій.

10.В залежності від призначення складної системи в її склад мають входити необхідні системи життєзабезпечення:

- система енергетичного забезпечення ;
- система забезпечення робочим тілом і компонентами його переробки;

- система доставки необхідних компонент функціонування до місця призначення (транспортні системи);
- системи збору і обробки необхідної інформації та зв'язку з зовнішнім світом;
- імунна система, або система захисних функцій;
- система відновлення працездатності і регулювання параметрів (регенерація, вирощування та т.п.).

11. Будова системи має оптимальним чином відповідати цільовій функції призначення системи. В залежності від середовища функціонування і від цільової функції проектування (мінімальна собівартість, максимальна надійність, мінімальна маса, максимальний результат, заданий рівень якості і т.п.) вибираються системи життєзабезпечення системи і їх показники, матеріали і конструкції, область застосування. Як результат компромісу між наявними ресурсами і задачами системи, спроектований об'єкт є лише наближенням до ідеального варіанту. Задача проектанта полягає в максимальному наближенні спроектованого об'єкта (системи) до ідеального варіанту. Розглянутий принцип є одночасно і законом відповідності задуму і результатів.

Перераховані принципи є системними, але не єдиними і приведені в якості зразка для розбудови технологій проектування, так само, як і приведені нижче принципи раціонального конструювання:

1. Використовуй оптимальні види навантаження. Краще всього конструкція працює на розтягування.

2. Матеріал конструкції має задовольняти умовам експлуатації, мати найкращу питому міцність, бути доступним, технологічним, дешевим.

3. Конструкція в усіх точках повинна бути рівнонапруженою, працювати за значеннями робочих напружень близькими до руйнівних.

4. Сили (навантаження взагалі) необхідно передавати найкоротшими шляхами, а геометрія елементів конструкції має відповідати геометрії силових (як і інших) потоків.

5. Конструкція має набувати оптимальних властивостей в період функціонування (метод попереднього навантаження, тренування, попереднього пристосування).

6. Конструкція повинна мати мінімум рухомих деталей і елементів загальної зборки.

7. В кожній конструкції бажано поєднати максимум можливих функцій з акцентом на взаємонеутралізацію силових потоків і наслідків функціонування.

8. Якщо кілька деталей можна виготовити в якості єдиної, це необхідно зробити, не забуваючи про надійність, працездатність, ремонтпридатність.

9. Конструкції не повинні нести загрозу життєдіяльності людини, „бути стійкими” до зовнішніх впливів і не змінювати властивості з часом.

10. При конструюванні слід використовувати метод трьох точок як елемент стійкості і жорсткості (наприклад трикутники в будові ферм).

11. При конструюванні необхідно використовувати загальну розмірну базу, всі розміри елементів конструкції мають відноситись як цілі числа, так само як і співвідношення між періодами функціонування.

12. По можливості необхідно виключити ударні навантаження (і динамічні взагалі), так само як і перехідні процеси. Постійність рівня навантажень – гарантія стабільності.

13. При проектуванні конструкції органу виконання поставленої задачі необхідно враховувати характер його взаємодії з предметом праці (в точці, по лінії, по поверхні, об'ємну).

14. Конструкція, що проектується, має відповідати принципам технологічності, а саме:

- враховувати можливості її виробництва;
- оптимальної організації виробництва;
- оптимальному складу виконавців задачі і ресурсного забезпечення процесу виробництва;
- оптимізації інтересів виробника і споживача;
- мінімізації недостатнього і максимізації достатнього.

Перераховані принципи проектування – конструювання можуть бути доповнені іншими, можуть змінюватись із часом, а тому мають розглядатись перш за все, як основа для подальшого розвитку творчої думки.

Розвиток кожної складної системи підкоряється обмеженій кількості принципів та законів. До складу принципів і законів будови і розвитку технічних систем слід віднести наступні:

1. Закон кореляції параметрів однорідного ряду технічних об'єктів. Під однорідними об'єктами розуміють такі, що мають однакове призначення, подібні функції і структури, умови роботи і відрізняються лише значеннями головного параметру. Для однорідного ряду технічних об'єктів параметри χ_j їх елементів пов'язані з головним параметром y_i функціональними залежностями виду:

$$y_i = a_i \cdot x_j^{\nu_i} + b_i, \quad i=1,2,\dots,n, \quad j=1,2,\dots,k,$$

де a_i, ν_i, b_i – статистичні коефіцієнти.

2. Закон гомологічних рядів: технічні об'єкти з близькими функціями і принципами будови мають частково співпадаючі набори варійованих конструктивних ознак, що приймають однакові значення.

3. Закон симетрії технічних об'єктів: симетрія середовища, що породжує об'єкти, накладається на симетрію цього об'єкту. При цьому геометрія об'єкту зберігає лише ті елементи власної симетрії, які співпадають з накладеними на нього елементами симетрії середовища (принцип П. Кюрі). Іншими словами, технічний об'єкт, що знаходиться під впливом потоків речовини, енергії і інформації, має визначальний тип симетрії, обумовлений комбінацією і характером цих потоків.

Для основних типів симетрії даний закон може бути сформульований наступним чином:

а) закон двосторонньої симетрії: технічний об'єкт, що знаходиться під впливом різнонаправлених під кутом один до одного потоків середовища має площину симетрії паралельну напрямку дії потоків (симетрія типу (m); наприклад, у літака);

б) закон осьової симетрії:

- технічний об'єкт, що знаходиться під впливом однонаправленого потоку має вісь симетрії паралельну вектору дії потоку (симетрія типу (n), наприклад, гребного гвинта);

- технічний об'єкт, що знаходиться під суттєвим впливом сили тяжіння і плоско паралельної дії середовища має симетрію (m) з вертикальною віссю симетрії;

- технологічний об'єкт, що знаходиться під рівновірогідним впливом потоків з якого завгодно напрямку має симетрію (n), або (n·m), (n:m), (m·n:m) з віссю перпендикулярною дії середовища (n:m), (симетрія типу анемометра).

При проектуванні необхідно також пам'ятати, що основою якої-завгодно енергодинамічної пари є асиметрія структури системи. Повністю симетрична система нейтральна і не може утворити необхідну дієву різницю потенціалів.

4. Закон мінливості: кожна наступна модифікація технічного об'єкту має відрізнятися за своїми параметрами, функціями, можливостями, пристосованістю не менше ніж на (20-25)% від попереднього зразка (на значення коефіцієнту стохастичності, варіабельності, оптимального пошуку). Якщо внесених змін буде більше – зростає ризик невиконання поставленої задачі.

5. Закон оптимального різноманіття: для виконання однієї функції в різних умовах зовнішнього середовища технічний об'єкт має виконуватись в кількох основних базових модифікаціях. Кількість таких модифікацій має відповідати обґрунтованому значенню оптимальної різноманітності.

6. Закон Ле-Шательє (закон деградації, реології, мінливості структур і функцій): Система, що знаходиться під впливом зовнішніх потоків, змінюється в часі таким чином, щоб дія зовнішніх потоків на систему була мінімальною.

7. Закон еволюції технічних об'єктів: запити людства, що зростають за експоненціальним законом, забезпечуються експоненціальним зростанням кількості систем і об'єктів, що можуть задовольнити ці запити.

8. Принцип прозорості (необхідної проникливості): кожна система (і кожна структура) має забезпечувати необхідну енергопровідність до кожного її складового елемента (так само як і можливість заміни одних елементів іншими), та доступ необхідних потоків інформації до місця призначення.

9. Принцип Оккама: не слід примножувати сутності без необхідності. Ускладнення системи має обґрунтовуватись або зміною цільової функції, або зміною якості.

10. Принцип Гьоделя-Тарського (принцип повноти-неповноти): завжди знайдеться істина, яку засобами системи не можна ні спростувати, ні довести

формально логічними засобами. Завжди є рішення обумовлені не логікою будови системи, а зовнішніми факторами.

11. Принцип пристосування (принцип динамізації): система, що еволюціонує в змінному середовищі розпадається на дві частини: ядро і периферію. Ядро базується на консервативному стабільному факторі; периферія (змінна частина) - на оперативному впливаючому ззовні. При цьому стійкість системи підвищується. Співвідношення між стабільною і змінною частинами в залежності від динамізації системи коливається від значення золотого перетину $\phi = 0,618$ до 4:1 (закон Парето в економіці).

12. Закон Мерфі (закон інерції): всякій зміні відповідає рівна їй протидія (куди б ти не їхав – це завжди вгору і проти вітру).

13. Принцип Короленко-Кюрі: ускладнення-спрощення системи відповідає ускладненню-спрощенню зовнішнього середовища.

14. Принцип компенсації: кожна зміна в зовнішньому середовищі компенсується відповідною зміною в структурі об'єкта, що знаходиться в даному середовищі.

15. Принцип еквівалентності: завжди існує альтернатива прийнятому рішенню (принцип подвійності в геометрії; множинності в біосфері: «хлібне» місце пустим не буває).

16. Принцип цементації системи: в незмінних умовах система стабілізується, цементується, втрачає здатність до пристосування і еволюції (це стосується не лише природних і технічних об'єктів, а й творчих колективів, свідомості проектанта).

17. Принцип ієрархії (принцип жорсткості, ефект диктату верхів над «низам» принцип моментів): дія (вплив) елементу системи залежить від місця елементу в ієрархії системи (можливості елементу множаться на «плече» взаємного розташування в ієрархії).

18. Принцип переходу: перехід системи з одного рівня організації на інший (з макро- на мікро- або на мегарівень) має супроводжуватись і зміною фізики функціонування.

19. Принцип фільтрації: система повинна мати будову, яка б виключала можливості впливу випадкових факторів на її функціонування (наявність імунної системи)

20. Принцип нерівномірності розвитку: кожна система переживає три стадії: пристосування до умов середовища, період стабільного функціонування і період руйнації (після вичерпання ресурсів, після виконання поставленої задачі). На кожній із цих стадій змінюється зміст другого початку енергодинаміки. На першій стадії діє принцип максимуму виробництва ентропії (затрат енергії на зміну структур), на другій – мінімуму виробництва ентропії, на третій – знову максимум.

При проектуванні конструкції необхідно також враховувати психологію творчості, а саме:

- мотивацію;
- віру в свої можливості;

- зацікавленість і емоційний стан;
- наполегливість і бажання долати перепони;
- віра в можливість рішення задачі;
- завжди існують альтернативні шляхи рішення;
- найкращий варіант рішення попереду.

Перешкодою в творчості є віра в незмінність законів, незмінність функцій, форм і структур; в незмінність їх складу і комплектності, в неможливість інших рішень, інших технологій, іншого застосування, іншої вимірності в просторі і часі.

Ефективність творчого рішення задач в значній мірі залежить також від наявності і застосування різних форм мислення: інтуїтивного, діалектичного, логічного, системного, асоціативного, художньо-композиційного. Те, що є гарним «інструментом» для рішення задач у «фотошопі», не годиться для рішення задач у «автокаді».

Висновок. Розглянутими вище базовими принципами проектування-конструювання технології проектування ніяким чином не обмежуються і не формалізуються, а тому їх необхідно вважати, перш за все, інформацією для допитливої думки на шляху створення дійсно ефективних технологій проектування і конструювання техніки і технічних систем не лише сучасності, а й майбутнього.

Бібліографічні посилання

1. Дитрих Я. Проектирование и конструирование. – Из-во «Мир», - 1981, - 326с.
2. Шевцов В. Ю. Скарбниця. –«АРТ-ПРЕС», Дніпро. - 2005, -260С.

Надійшла до редколегії 15.04.2019

УДК 536.24

О. В. Колесніченко, О.Ю. Сідаш

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара

ДЕЯКІ ОСОБЛИВОСТІ РОБОТИ З ПАКЕТОМ 3DMAX

У роботі пропонується підхід до створення 3d моделей без помилок які виникають у зв'язку з використанням особливого математичного забезпечення цього пакету.

Ключові слова: *складені об'єкти, булеві, згинати.*

В работе предлагается подход к созданию 3d моделей без ошибок возникающих в связи с использованием особого математического обеспечения этого пакета.

Ключевые слова: *составные объекты, булевы, сгибать.*

The paper proposes an approach to creating 3d models without errors arising in connection with the use of special mathematical software of this package.

Keywords: *compound objects, boolean, bend.*

Вступ. Ціллю статті було висвітлення деяких аспектів роботи з пакетом 3dMAX в рамках спеціальності 134 «Авіаційна та ракетно-космічна техніка» забезпечення таких навчальних дисциплін, як «параметричне моделювання», «тривимірне параметричне моделювання» та «комп'ютерна графіка в системах КД» з метою виключення помилок, які виникають у зв'язку з використанням особливого математичного забезпечення цього пакету.

Аспекти роботи з пакетом 3dmax. Зважаючи на те, що при роботі з «Compound Objects» за вибором «Object Type» - «Boolean», іноді виникають помилки, що перетворюють щільний об'єкт у об'єкт, який не відображує внутрішню структуру (рис.1а), рекомендуємо записати сцену до операцій «Boolean». Окрім того:

- 1- звернути увагу на розміщення так званого «Pivot»;
- 2- площини об'єктів не повинні співпадати;
- 3- приділити увагу кількості та розташуванню сегментів об'єктів.

У разі виникнення помилки (рис.1б) слід повернутися до збереженої сцени та змінивши, згідно рекомендаціям параметри, знову виконати операцію «Boolean».

Слід зазначити, що помилка може виникнути також при послідовному відніманні великої кількості об'єктів. У цьому випадку кожна нова операція повинна починатися з закладки «Create».

З метою прискорити процес, рекомендуємо об'єднати об'єкти, які будуть «відніматися», в один, так званий «Mesh» об'єкт за допомогою модифікатора «EditMesh» і тільки після цього виконати операцію - «Boolean», знов таки з

урахуванням розташування «Pivot», розташування площин об'єктів, кількості та розташуванню сегментів.

На рис. 2 можемо побачити ще одну помилку при моделюванні об'єктів, які після виконання «Boolean» операцій необхідно згинати за допомогою модифікатора «Bend».

Різні товщини в кутах та по центру осередків обумовлені тим, що не була врахована необхідна кількість сегментів об'єктів, які віднімаються. Розмір цих сегментів не повинен перевищувати розміру сегментів «основного» об'єкту, який подалі може трансформуватися (у наведеному прикладі згинатися за допомогою модифікатора «Bend»).

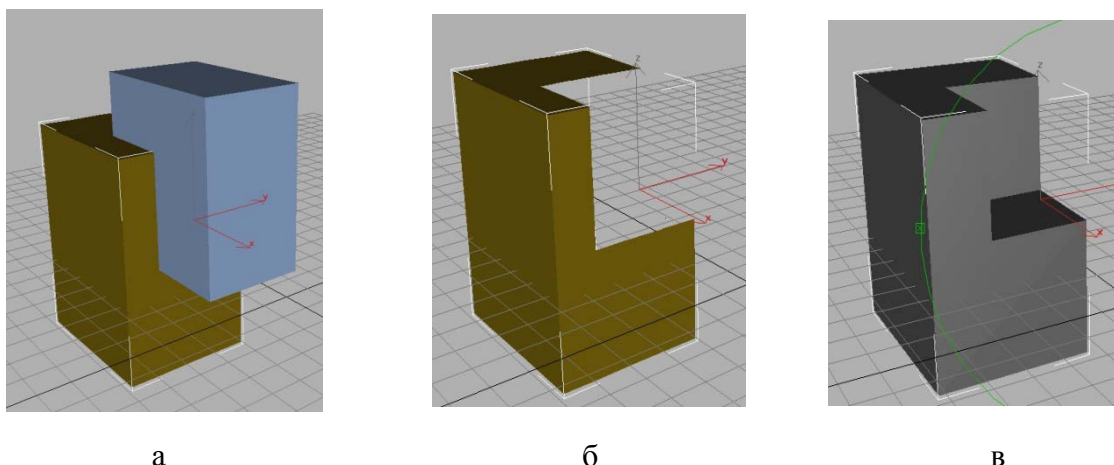


Рис. 1. Стадії «Boolean» «Subtraction»:

а- візуалізація до «Subtraction»; б- візуалізація з помилкою; в - візуалізація без помилки

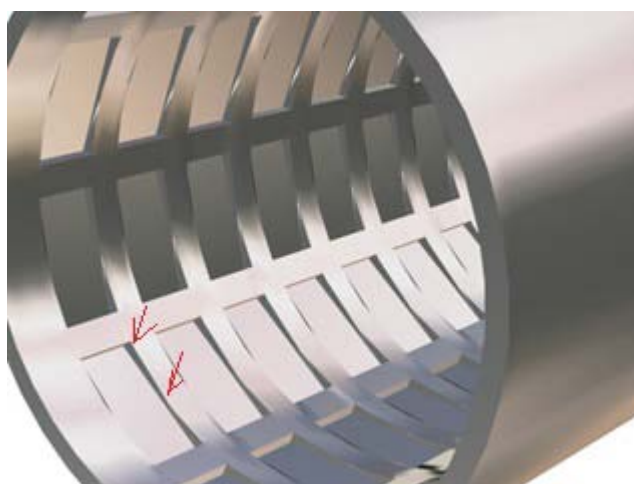


Рис. 2. Помилка при моделюванні об'єктів, які після виконання «Boolean»

Створюючи тривимірні об'єкти чітко оцінювати складність моделі та свої знання і методи за допомогою яких можливо виконати модель максимально реалістичну при цьому, так звана, вага її не повинна гальмувати роботусамой програми в середовищі якої вона створюється. Так, якщо створювати моделі в основу яких покладені фігури обертання то замість «важких» «Loft-перетворювань» краще використовувати модифікатор «Lathe». Але і він потребує знання деяких особливостей.

Наприклад, створюючи згладжену фігуру обертання, може виникнути помилка при візуалізації таких об'єктів, окремий випадок зображений на рис.3.

Щоб уникнути цієї помилки, ще на етапі створення лінії форми, до вершини 1 (рис.4), яка знаходиться на вісі обертання, треба застосувати, в закладці модифікатора лінії, опцію «Fillet».



Рис. 3. Помилка при візуалізації об'єктів



Рис. 4. Помилки на етапі створення лінії форми

Величина «Fillet» не повинна бути великою, бо тоді на моделі виникне непотрібна западина. Кількість вершин лінії, яка формує обриси моделі теж не повинна бути великою, а кількість сегментів при застосуванні модифікатора «Lathe» повинна бути достатньою, щоб модель не виглядала сегментованою при візуалізації.

Формуючи лінію, яка потім використовується разом з модифікатором «Lathe», задаємо кутові властивості точок (рис.5.) і тільки потім змінювати ці властивості, що дає можливість зменшити час та створювати модель з необхідним мінімумом точок.

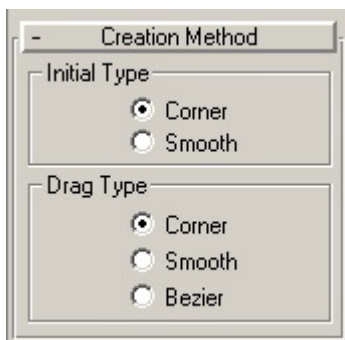


Рис. 5. Формування лінії разом з модифікатором Lathe

Вважаємо необхідним зазначити ще одну особливість пов'язану з модифікатором «Lathe». Вона стосується оберненого відображення поверхонь моделі (рис.6а.).



Рис. 6. Обернене відображення поверхонь моделі:
 а – відображення поверхні якої не повинно бути видно;
 б – нормальне відображення поверхонь

Причини такого не коректного відображення можуть бути різноманітними, від вибору першої точки з якої програма вираховує обриси моделі до утворення петлі в місці з'єднання лінії (або ліній, якщо використовувалось декілька ліній). Одним з засобів, який вплине на результат візуалізації у цьому випадку, є встановлення або зняття галочки у модифікаторі «Lathe», закладці «Parameters» поряд з написом «FlipNormals» (рис.7.):

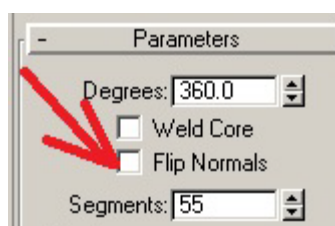


Рис.7. Встановлення або зняття галочки у модифікаторі Lathe

Якщо встановлення або зняття галочки не дало результатів, то слід перевірити властивості точок на наявність їх з'єднання чи утворення петель. Кардинальним способом буде створення нової форми з початковими властивостями точок «Corner», як зображено на рис.5, з подальшою їх зміною.

Висновок. Таким чином, наведені вище дії дозволять забезпечити виконання сукупності вимог при створенні якісних 3D-моделей в середовищі пакету 3DMAX та уникнути програмних помилок при створенні та візуалізації моделей.

Бібліографічні посилання

1. Джон А. Белл 3D Studio MAX. - М., Диалектика, 1998г.
2. Колесніченко О.В. Тривимірне параметричне моделювання. Посібник / О.В. Колесніченко, 2018. - Репозиторій ДНУ. http://repository.dnu.dp.ua:1100/?page=inner_material&id=9900

Надійшла до редколегії 10.05.2019

УДК 37.01

А.К. Линник

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара

КОНЦЕПЦІЯ АВТОРСЬКОЇ МЕТОДИКИ ВИКЛАДАННЯ КУРСУ «КОНСТРУЮВАННЯ РАКЕТ-НОСІЇВ»

Наведено основні положення авторської методики викладання конструкторських дисциплін з ракетобудування на фізико-технічному факультеті Дніпровського національного університету. Зокрема, наголошено на важливості застосування системного підходу до навчання, опанування студентами творчого конструкторського мислення та оволодіння навичками виконання графічних робіт. Сформульовано вимоги до розробки і успішного захисту курсового проекту, а також до атестації студентів під час семестрових та підсумкових екзаменів.

Ключові слова: *методика викладання, конструкторські дисципліни, викладач, студент, курсовий проект, екзамен.*

Приведены основные положения авторской методики преподавания конструкторских дисциплин по ракетостроению на физико-техническом факультете Днепровского национального университета. В частности, подчеркнута важность применения системного подхода к обучению, к формированию у студентов творческого конструкторского мышления и овладению навыками выполнения графических работ. Сформулированы требования к разработке и успешной защите курсового проекта, а также к аттестации студентов во время семестровых и итоговых экзаменов.

Ключевые слова: *методика преподавания, конструкторские дисциплины, преподаватель, студент, курсовой проект, экзамен.*

Substantive provisions of the author's technique of teaching of design disciplines on the rocketry at the physics-technical faculty of Dniprovskiy national university are resulted. In particular, importance of application of the system approach to training, to formation at students of creative design thinking and to acquire graphic skills is underlined. Requirements to working out and successful protection of a term project, and also certification of students during term and year examination are formulated.

Key words: *technique of teaching, design disciplines, lecturer, student, term project, examination.*

Вступ

В процесі розробки сучасних ракет беруть участь тисячі спеціалістів, але роль конструктора завжди була і залишається бути провідною. Тільки в далекому минулому, при створенні самих перших найпростіших зразків, конструктор сам їх замислював, виготовляв і випробовував. Зараз же він, працюючи у багатотисячному колективі, є головним ідеологом творчих задумів, основною рушійною силою і одночасно менеджером проектної і конструкторської роботи, вирішальною фігурою під час виготовлення ракети і її складових, а також при проведенні різного роду випробовувань та перевірок.

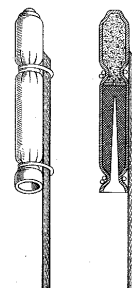
Очевидно, що і підготовка конструкторів, і методи викладання конструкторських дисциплін мають бути багатограничними, різноплановими і творчими.

Принципові концептуальні положення викладання дисципліни

1. Зміни в підходах до розробки ракет:

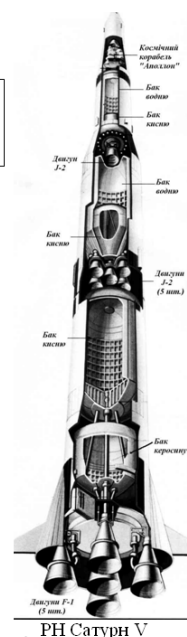
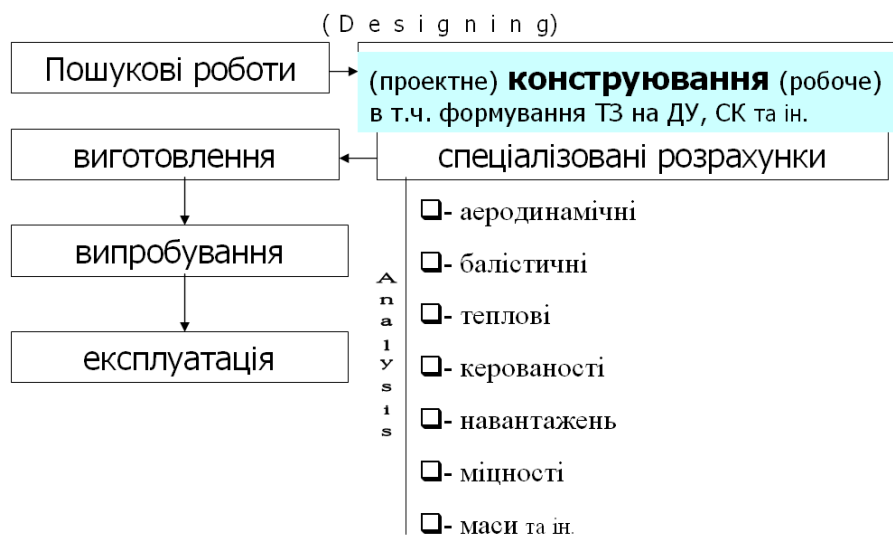
а) Конструктори перших ракет – одноосібні творці

- Задумав
- Зробив
- Випробував
- Удосконалив і т.д.



Перші порохові ракети,
що з'явилися в Україні (1516 р.)

б) Послідовність та зміст розробки та створення ракет на сучасному етапі



2. Головна мета викладання дисципліни (альтернативи):

- надати всебічну інформацію про конструкції ("наповнити судину");
- навчити конструюванню ("запалити смолоскип").

3. Ставлення до знань та вмінь:

- зацікавленість в набутті нових знань та вмінь;
- набуті знання та навички важливі, але вони тільки інструмент;

➤ взаємозв'язки та взаємовпливи знань, що вивчаються в різних дисциплінах;

4. Застосування принципів системного підходу:

- визначення головної мети та задач для її досягнення;
- побудова ієрархічної структури об'єктів вивчення;
- встановлення критеріїв, показників та обмежень;
- застосування декомпозиції, багатofакторного аналізу та синтезу;
- оптимізація (пошук компромісів);
- генерування багатоваріантних рішень, в т.ч. творчих;
- трансформація рішень при зміні критерію.

5. Одночасне оперування моделями різного типу:

- математичними; фізичними; графічними; уявними.

Подолання фізіологічного опору оперуванням моделями різного типу.

6. Опанування креативним мисленням:

➤ розуміння необхідності виходу за рамки формалізованих процедур та застосування новацій;

- демонстрація яскравих прикладів нетрадиційних рішень;
- придбання навичок творчого мислення.

7. Конструктор має бути головним технічним менеджером*

➤ розподіл конструкторської розробки (проекту) вищого рівня на складові нижчого;

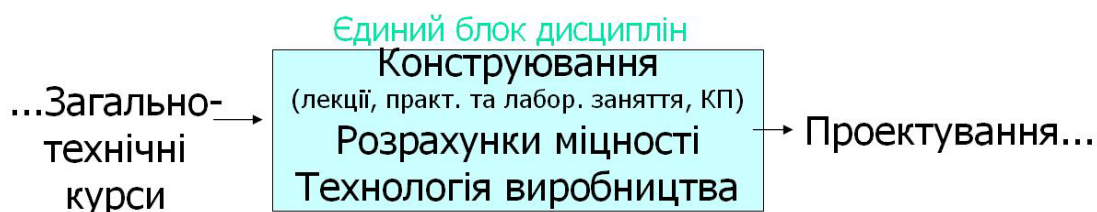
- відбір відповідних (за бажанням та здібностями) виконавців складових;
- формулювання задач для виконавців складових;
- координація дій та узгодження результатів усіх виконавців.

8. Важливі організаційні положення (місце курсу серед інших; види занять; об'єми матеріалу та ін.).

Згідно з ЄСКД послідовність створення виробів така:

“...проектування – конструювання - аналіз (розрахунки) – виробництво ...”

Педагогічний досвід викладання курсу «Конструювання ракет-носіїв» засвідчив кращу ефективність застосування дещо зміненої послідовності:



Передбачається узгодження змісту матеріалу і темпу викладання курсу з кроками набуття студентами самостійного творчого мислення.

9. Методичні прийоми при проведенні аудиторних занять (лекцій, практичних та лабораторних):

- надати інформацію та обов'язково переконати;

* Практичне втілення реалізується для кращих студентів-лідерів.

- показати шлях від розрізнених знань до їх системи;
 - не стільки запам'ятати, стільки зрозуміти;
 - завоювати довіру аудиторії(!);
 - визвати інтерес і розбудити бажання діяти(!);
 - формулювати задачу/проблему та заохотити аудиторію до пошуку можливих рішень, в т.ч. змінюючи критерії(!);
 - “поставити руку” шляхом виконанням студентами ескізів (використовуючи приклад викладача)(!);
 - вивчити зразки, фрагменти та натурні ракети-носії, що є у наявності.
10. Формат виконання курсового проекту:
- Курсовий проект – це концентрація знань, вмінь та творчих здібностей.
 - Курсовий проект – це прояв інтересу, бажань та прагнень, чому мають сприяти:

- суто індивідуальний підхід (кожному студентові своя тема);
- контракт між викладачем та студентом. В ньому узгоджується тема, об'єм та глибина розробки проекту відповідно до здібностей, можливостей і бажань студента. Для цього визначено три рівні тем, що відрізняються складністю;
- самостійний пошук нових (альтернативних) ідей технічних рішень, їх генерування, оцінка переваг та недоліків;
- прийняття остаточного рішення (вибір кінцевого варіанта та його поглиблена конструкторська розробка з необхідними розрахунками і поясненнями);
- створення конкурентного середовища (в окремих випадках для здібних студентів), щоб спонукати генерацію творчих рішень при однаково заданих темі і початкових даних).

11. Система оцінювання курсового проекту.

Оцінка залежить від спроможності студента задовольнити вимоги, що викладені у нижче приведеній послідовності.

Модифікована послідовність вимог:

“знати – вміти – розуміти – творити – встигнути”

Виконати:

- ☐ Самостійно
- ☐ Якісно (згідно з ЄСКД)
- ☐ Творчо
- ☐ Вчасно (система штрафних балів)

Здати та **ЗАХИСТИТИ**



12 Оцінювання студентів на семестрових та підсумкових екзаменах (бали за національною шкалою).

Рівень оцінки залежить від ступеню виконання вимог:



Замість висновків

В даній статті автор надав ключові положення своєї методики викладання спеціальної дисципліни «Конструювання ракет-носіїв», яку він започаткував, постійно вдосконалює і вже багато років застосовує на фізико-технічному факультеті (ФТФ) Дніпровського національного університету (ДНУ). Автор свідомо вибрав форму короткого нетрадиційного наочного викладу, маючи на увазі, в першу чергу, привернути увагу читача. Якщо ж вказане відбудеться, то той, хто зацікавився, зможе змістовно та у повному обсязі ознайомитися з авторською методикою у виданні, наведеному в бібліографічних посиланнях наприкінці цієї статті, або на кафедрі проектування і конструкцій ФТФ ДНУ.

Бібліографічні посилання

1. Lynnyk A. K. Peculiarities of Teaching Launch Vehicle Structure Designing at Dnipropetrovsk University. IAF-98-P.1.08. 49th International Astronautically Congress: Melbourne Australia, 1998.

Надійшла до редколегії 22.04.2019

УДК 669.715

Н.Є. Калініна¹, А.В. Давидюк¹, В.Т. Калінін², Т.В. Носова¹, С.І. Мамчур¹
І.С. Савченко¹

¹Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара

²Національна металургійна академія України

ДОСЛІДЖЕННЯ СТРУКТУРИ ТА ВЛАСТИВОСТЕЙ АЛЮМІНІЄВИХ СПЛАВІВ, МОДИФІКОВАНИХ ДИСПЕРСНИМИ КОМПОЗИЦІЯМИ

Вивчено вплив модифікування дисперсними композиціями на зеренну структуру та механічні властивості промислових алюмінієвих сплавів. Алюмінієві сплави систем Al-Si, Al-Mg-Sc, Al-Cu-Mn модифікували дисперсним порошком SiC розміром часток до 200 нм. Розрахована кількість модифікатору для введення у розплав. Вивчено фізико-хімічні властивості дисперсного SiC. Проведені плавки сплавів АЛ4С, 1570, 2219, АК9ч у вихідному стані та з обробкою розплавів SiC. Встановлено залежності розміру частинок та кількості модифікатора на механічні властивості сплавів. Встановлено механізм взаємодії модифікатора з алюмінієвим розплавом під час кристалізації. У промислових експериментах встановлено найбільш ефективний розмір часток SiC для підвищення σ_T сплаву АК9ч зі 115 до 260 МПа у литому стані. Визначено оптимальний вміст SiC (0,10%) для підвищення σ_T алюмінієвих сплавів.

Ключові слова: алюмінієвий сплав, структура, механічні властивості, дисперсний модифікатор.

Изучено влияние модифицирования дисперсными композициями на зеренную структуру и механические свойства промышленных алюминиевых сплавов. Алюминиевые сплавы систем Al-Si, Al-Mg-Sc, Al-Cu-Mn модифицировали дисперсным порошком SiC размером частиц до 200 нм. Рассчитано количество модификатора для ввода в расплав. Изучены физико-химические свойства дисперсного SiC. Проведено плавки сплавов АМг6, 1570, 2219, АК9ч в исходном состоянии и с обработкой расплавов SiC. Установлены зависимости размера частиц и количества модификатора на механические свойства сплавов. Установлен механизм взаимодействия модификатора с алюминиевым расплавом при кристаллизации. В промышленных экспериментах установлено наиболее эффективный размер частиц SiC для повышения σ_T сплава АК9ч со 115 до 260 МПа в литом состоянии. Определено оптимальное содержание SiC (0,10%) для повышения σ_T алюминиевых сплавов.

Ключевые слова: алюминиевый сплав, структура, механические свойства, дисперсный модификатор.

The effect of modifying dispersed compositions on the grain structure and mechanical properties of industrial aluminum alloys is studied. Aluminum alloys of the Al-Mg, Al-Mg-Sc systems were modified with dispersed SiC powder with a particle size of up to 200 nm. Calculated the amount of modifier to enter into the melt. The physicochemical properties of dispersed SiC were studied. The melting of alloys AL4S, 1570, 2219, AK9ch in the initial state and with the processing of SiC melts was carried out. The dependences of the particle size and amount of the modifier on the mechanical properties of the alloys are established.

The mechanism of interaction of the modifier with the aluminum melt during crystallization is established. In industrial experiments, the most effective particle size of SiC was found to increase the σ_T of the AK9ch alloy from 115 to 260 MPa in the cast state. The optimal SiC content (0,10%) was determined to increase the σ_t of aluminum alloys.

Keywords: *aluminum alloy, structure, mechanical properties, disperse modifier.*

Вступ. Створення дисперсних матеріалів безпосередньо пов'язано з розробкою і застосуванням нанотехнологій. На установках плазмохімічного синтезу можна отримувати широкий спектр нанодисперсних сполук, а саме: карбіди, нітриди, карбонітриди, силіциди різних елементів (Si, Al, Ti, V, Mo, W та ін.), а також нанодисперсні порошки чистих металів [1-3].

У вітчизняній ракетно-космічній техніці широко застосовують нержавіючі сталі, ливарні і деформовані алюмінієві та магнієві сплави, ливарні нікелеві сплави. Для деталей ракетно-космічної техніки (РКТ) можуть бути корисні перспективні напрямки з обробки наномодифікаторами сплавів різних систем легування.

Постановка задачі. Встановити вплив модифікування дисперсними композиціями на зеренну структуру та механічні властивості алюмінієвих сплавів.

Методика досліджень і аналіз отриманих результатів. Матеріалом дослідження є алюмінієві сплави систем Al-Si, Al-Mg-Sc, Al-Cu-Mn, АЛ4С, 1570, 2219, АК9ч. Запропоновано модифікування алюмінієвих сплавів дисперсним порошком карбіду кремнію SiC розміром часток до 200 нм. Дисперсний SiC отримано методом плазмохімічного синтезу. Проведені дослідно-промислові плавки алюмінієвих сплавів. Досліджено структуру та механічні властивості сплавів у литому та деформованому стані.

З урахуванням принципу про кристалографічну і розмірну відповідність ізоморфності кристалічних решіток алюмінію і тугоплавких сполук [7, 8] встановили, що модифікаторами алюмінієвих сплавів можуть бути карбіди кремнію, ніобію і танталу, а також карбіди і нітриди титану, цирконію, гафнію і ванадію. Як ефективний модифікатор ливарних алюмінієвих сплавів запропоновано нанодисперсний порошок карбіду кремнію SiC розміром часток до 200 нм [5], який отримано методом високотемпературного плазмохімічного синтезу [4].

Карбід кремнію існує у двох алотропічних модифікаціях: β -SiC і α -SiC. Кристали β -SiC мають кубічну будову з алмазоподібною решіткою сфалериту з параметром $a = 0,4360$ нм [9]. Кристали α -SiC у широких межах проявляють політипізм. В основі їх будови існує гексагональна і ромбоєдрична решітки. Хімічний склад тонкодисперсного β -SiC, мас. %: 68,5 Si; 30,5 C; 1,0 N. Перехід β -SiC $\rightarrow$ α -SiC відбувається при 2100°C і супроводжується зміною об'єму на 0,06%. Нанодисперсні частинки карбіду кремнію розмірами до 200 нм є хорошими геттерами, матеріалами з розвиненою вільною поверхнею [6, 7].

Високі фізико-механічні характеристики β -SiC пояснюють міжатомним зв'язком. Атоми в карбіді кремнію пов'язані між собою ковалентним зв'язком, який є найбільш сильним у природі і обумовлює в кристалах високу

температуру плавлення, твердість і хімічну тривкість. Кристал SiC складається з атомів двох видів, що мають різну спорідненість до електрону, причому атом кожного сорту оточений чотирма атомами іншого сорту. Тому поряд з ковалентним зв'язком тут є деяка частка гетерополярного зв'язку [8].

Дія нерозчинних додатків, ізоморфних до алюмінію, аналогічність впливу розчинних елементів дотримується лише тоді, коли кількість нерозчинного додатку перевищує кількість кристалів, що утворилися довільно за тих самих умов [3, 5]. Таким чином, зі збільшенням кількості нерозчинного додатку, зокрема частинок карбіду кремнію, розмір зерна спочатку зменшується, а потім буде постійним.

Механізм впливу дисперсних частинок карбіду кремнію на формування структури доевтектичних алюмінієвих сплавів під час кристалізації полягає в тому, що основна їх маса виштовхується фронтом кристалізації в рідку фазу і бере участь у подрібненні структурних складових сплаву. Частинки карбіду кремнію сприяють також дисперсному зміцненню сплаву, так як дисперсні фази є додатковими бар'єрами для переміщення дислокацій, а отже, підвищують характеристики міцності ливарних алюмінієвих сплавів.

На механічні властивості алюмінієвих сплавів суттєво впливають розміри частинок зміцнювальної фази. Промислові експерименти з застосуванням дисперсних частинок SiC у широкому діапазоні розмірів 0,075...0,100; 10...20; 30...40; 50...60 і 90...100 мкм виявили, що зі зменшенням розмірів частинок карбіду кремнію до 100 нм межа міцності сплаву АК9ч зростає з 115 до 260 МПа (рис. 1).

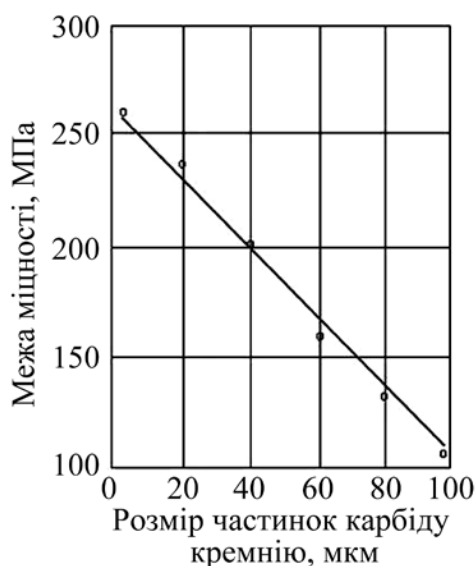


Рис. 1. Вплив розмірів частинок SiC на міцність сплаву АК9ч

Для визначення оптимальної кількості модифікатора карбіду кремнію виконали промислові плавки та випробування зразків, що пройшли термічну обробку за режимом Т6 (гартування і штучне старіння).

Для комп'ютерної обробки даних складу сплавів і вмісту модифікаторів використали програму Microsoft Excel. Аналіз результатів засвідчив, що модифікування частинками карбіду кремнію в кількості 0,1 мас. % максимально підвищує пластичність (δ) сплаву АК9ч (рис. 2) за одночасного збільшення межі міцності (σ_B) і межі текучості (σ_T).

Подальше збільшення кількості модифікатора SiC від 0,10 до 0,25% в сплаві АК9ч суттєво не впливає на механічні властивості, а за вмісту більше 0,25% SiC незначно знижується параметр σ_B (рис. 3). Незначне зниження межі плинності сплаву АК9ч спостерігали під час введення більше 0,1 мас. % модифікатора SiC.

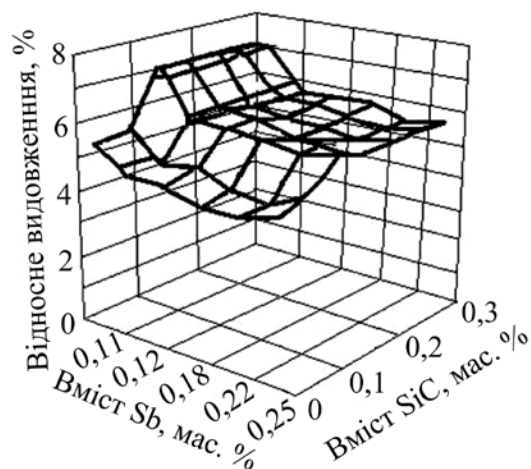


Рис. 2. Зміна відносного видовження модифікованого сплаву АЛ4С залежно від вмісту SiC.

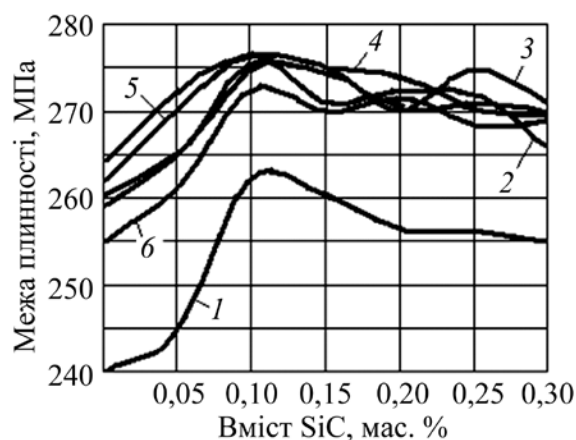


Рис. 3. Залежність межі міцності модифікованого сплаву АЛ4С від вмісту SiC за різного вмісту Sb: 1 – 0%; 2 – 0,11; 3 – 0,12; 4 – 0,18; 5 – 0,22; 6 – 0,25%

Таким чином, механічні характеристики ливарного алюмінієвого сплаву АК9ч значно підвищуються з введенням у розплав 0,1 мас. % нанодисперсних частинок карбіду кремнію. Якість ливарних алюмінієвих сплавів під час модифікування залежить від багатьох чинників: природи дисперсної фази, температури розплаву, режимів його перемішування під час введення частинок. Під час вивчення впливу температури на ступінь засвоєння тугоплавких частинок SiC встановлено, що за певної для даного розплаву температури спостерігається максимум засвоєння частинок. Характерною особливістю результатів досліджень, виконаних з різними тугоплавкими композиціями в алюмінієвих сплавах, є досягнення максимуму засвоєння частинок за нижнього значення температури розплавів.

Висновки. Вивчено фізико-хімічні властивості дисперсного модифікатора - карбіду кремнію SiC. Проведено промислові плавки сплавів АЛ4С, 1570, 2219, АК9ч у вихідному стані та з обробкою розплавів порошковим модифікатором. Встановлено механізм взаємодії дисперсного модифікатора з алюмінієвим розплавом під час кристалізації. В результаті дослідження досягнуто значне подрібнення зернової структури модифікованих сплавів.

Встановлено залежності розміру часток та кількості модифікатора на механічні властивості алюмінієвих сплавів.

Бібліографічні посилання

1. Большаков В.І., Куцова В.З., Котова Т.В. Наноматеріали і нанотехнології. – Дніпропетровськ : ПДАБА, 2016. – 220 с.
2. Калініна Н.Є., Никифорчин Г.М., Калінін О.В. та ін. Структура, властивості та використання конструкційних наноматеріалів: Монографія – Львів: Простір. – 2017. – 304 с.
3. Суругин А.Г. Кинетика образования малых частиц при объемной конденсации // Физикохимия нанодисперсных систем: Сб. тр. Ин-та металлургии им. А.А. Юайкова. – М.: Наука, 1987. – С. 15-21.
4. Плазмохимический синтез ультрадисперсных порошков и их применение для модифицирования металлов и сплавов // Черепанов А.А. и др. – Новосибирск: Наука. – 1995. – 344 с.
5. Кузін О.А., Яцюк Р.А. Металознавство та термічна обробка металів: Підручник – Львів: Афіша, 2002. – 304 с.
6. Алюміній та сплави на його основі // В.З. Куцова, Н.Е. Погребна, Т.С. Хохлова та ін. – Дніпропетровськ: Пороги. 2004. – 136 с.
7. Костин В.А., Григоренко Г.М., Жуков В.В. Модифицирование структуры сварных швов высокопрочных низколегированных сталей наночастицами тугоплавких металлов // Строительство, материаловедение, машиностроение, 2016. – вып. 89. – С. 93-98.
8. Сабуров В.П., Еремін Е.Н., Черепанов А.А., Миннеланов Г.Н. Модифицирование сталей и сплавов дисперсными инокуляторами. – Омск: ОмГТУ. – 2002. – 257 с.
9. Young- Domd K., Zin-Hyoung L. The effect of grain refining and oxide inclusion on the fluidity of AL-4,5Cu-0,6Mn and A356 alloys // Mater. Sci. and Eng. – 2003. - №12. – P. 372-376.

Надійшла до редколегії 24.05.2019

УДК 37.01

А.К. Линник, П.І. Журавель

Дніпровський національний університет імені О. Гончара

ДОСВІД ОРГАНІЗАЦІЇ ТА ПРОВЕДЕННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ НА БАЗІ ДЕМОНСТРАЦІЙНОЇ ЗАЛИ НАТУРНИХ ЗРАЗКІВ РАКЕТНО- КОСМІЧНОЇ ТЕХНІКИ

Відмічено особливе значення лабораторних робіт у навчальному процесі студентів фізико-технічного факультету Дніпровського національного університету. Перелічено зразки ракетно-космічної техніки в лабораторії конструкцій, які призначено для вивчення. Сформульовано низку організаційно-методичних рекомендацій щодо ефективного проведення лабораторних робіт.

Ключові слова: лабораторні роботи, зразки ракетно-космічної техніки, студенти, викладачі.

Отмечено особое значение лабораторных работ в учебном процессе студентов физико-технического университета Днепропетровского национального университета. Указаны образцы ракетно-космической техники в лаборатории конструкций, предназначенные для изучения. Сформулировано ряд организационно-методических рекомендаций, имеющих целью повысить эффективность проведения лабораторных работ.

Ключевые слова: лабораторные работы, образцы ракетно-космической техники, студенты, преподаватели.

Special importance of laboratory works in educational process of students of the physics-technical faculty of Dniprovskiy national university is emphasized. The laboratory rocket-space specimens for study are showed. A number of recommendations to improve of laboratory work effectiveness are formulated.

Key words: laboratory works, rocket-space specimens, students, teachers.

Вступ

Лабораторні роботи по вивченню характеристик і будови ракетно-космічної техніки (РКТ) займають особливе місце в навчальному процесі студентів фізико-технічного факультету (ФТФ) Дніпровського національного університету (ДНУ) спеціальності «Авіаційна та ракетно-космічна техніка» при опануванні таких дисциплін як «Основи ракетно-космічної техніки» та «Конструювання літальних апаратів». Для більшості молодих людей це чи не перша можливість наочно побачити і безпосередньо ознайомитися з видатними здобутками вітчизняного ракетобудування, тому проблеми мотивації студентів до роботи під час лабораторних занять, як правило, не виникає. Постають, в основному, питання якнайкращого облаштування демонстраційної зали (лабораторії конструкцій) та представлення зразків літальних апаратів, що підлягають вивченню, а також питання організації і методики проведення лабораторних робіт.

Облаштування демонстраційної зали

Історія створення лабораторії конструкцій зразків РКТ на ФТФ розпочалася ще в кінці 1950-х, коли в надсекретному приміщенні (на вул. Т. Г. Шевченко) вночі з'явилася надзвичайно секретна ракета 8A11 - радянська копія знаменитої німецької ФАУ-2. Зараз цей, дуже рідкісний зразок займає почесне місце на стапелях другого поверху в досить просторій залі на території корпусу №6 ДНУ. Поруч з ним, але вже на рівні підлоги, знаходиться також унікальна натурна ракета 8Ж38, розроблена в СРСР і є наступницею геніального творіння В. фон Брауна.

Пізніше в лабораторію були завезені натурні ракети 8K63, 8K99 та 8K66 (остання – це попередниця знаменитої «Сатани»), що були створені в конструкторському бюро «Південне». Розробка цих ракет продемонструвала новітні на той час підходи до ракетобудування, притаманні тільки КБ «Південне». На жаль, ракети 8K63 і 8K99 вже не доступні зараз для вивчення студентами в стінах лабораторії, бо були вилучені з навчального процесу і відправлені в якості музейних експонатів на територію КБ «Південне» та до обласної адміністрації.

Найбільш цікавим зразком, що представлено нині в лабораторії, є ракета 15A15, характеристики якої ніким досі неперевершені. Сама ракета складається з двох ступенів і додатково доукомплектована натурними піддоном, транспортно-пусковим контейнером та головним аеродинамічним обтічником з двома типами наконечника змінної геометрії – надувним і наконечником з поворотними стулками. Технічні рішення, які застосовано на наконечниках обтічника, не мають аналогів у світовому ракетобудуванні. Першому з авторів даної статі поталанило бути безпосереднім розробником цієї ракети під час роботи в КБ «Південне». Після переходу до ДНУ він разом з іншим співавтором ініціювали, організували і здійснили оснащення лабораторії конструкцій ФТФ ракетою 15A15 і її комплектуючими.

Крім ракет лабораторія має в своїй колекції також космічні апарати (КА) різного призначення, окремі зразки твердопаливних і рідинних ракетних двигунів та інші експонати.

Надзвичайно важливим для процесу навчання є те, що абсолютно всі зразки ракет препаровані для зручності вивчення внутрішньої будови.

Організаційно-методичні аспекти проведення лабораторних робіт

Серед цілей і задач, які постають перед студентами при виконанні лабораторних робіт, основними є такі [1]:

- ознайомлення з історією зародження, становлення і розвитку РКТ;
- вивчення основних характеристик представлених ракет і КА та їх схемних і конструктивних рішень;
- розвиток практичних навичок по виконанню ескізів компоновальних і силових схем ракет в цілому, окремих ступенів та агрегатів, а також характерних конструктивних елементів і вузлів;
- набуття вміння аналізувати об'єкти РКТ, що вивчаються, а також спроможності запропонувати і графічно зобразити власні рішення.

Робота в лабораторії проводиться згідно зі спеціальним розкладом. Практика показала, що найбільш продуктивно студенти працюють тоді, коли для виконання лабораторних робіт виділяється окремий день тижня. Тоді є можливість повністю «зануритися» в спокійну і творчу атмосферу демонстраційної зали на відносно тривалий період, який студентами навіть не відчувається. Звичними для викладача і лаборанта є нагадування студентам, що робота має закінчуватися, бо сплили відведені на неї 4...6 годин.

Згідно з багаторічним досвідом організації і проведення лабораторних робіт найкраще себе зарекомендувала діяльність в малих групах. Така форма сумісної діяльності об'єктивно обумовлена значно меншою кількістю зразків РКТ в демонстраційній залі порівняно з числом студентів на кожній лабораторній роботі.

Малі групи, як відомо [2], мають такі відмінні ознаки: загальна мета; налагоджені контакти; персональна усвідомленість; взаємозалежність та ін..

В залежності від виду зв'язків між членами малих груп вони можуть мати різні форми організації сумісної діяльності, а саме а) спільно-індивідуальна; б) спільно-послідовна та в) спільно-взаємодіюча. Для студентських проектних команд з невеликою кількістю членів (3..6 чол.) при роботі в лабораторії конструкцій характерною є, як правило, спільно-взаємодіюча форма сумісної діяльності. При даній організації виконання лабораторних робіт кожен член групи має відносну самостійність і може взяти на себе ту, чи іншу функцію (лідер або ведений). Розподілення ролей додає ефективності виконаній роботі і слугує додатковим важелем у процесі навчання. Щоб оцінити індивідуальний внесок кожного учасника малої групи викладач влаштовує публічне обговорення та захист кожної виконаної лабораторної роботи.

Висновки. Демонстраційна зала (лабораторія конструкцій) натурних зразків РКТ, що функціонує на фізико-технічному факультеті ДНУ, є надзвичайно важливою складовою для досягнення програмних цілей навчального процесу.

Всі зразки РКТ спеціальним чином розміщені в залі та препаровані.

Для виконання лабораторних робіт виділяється окремий день тижня.

Характерною організацією сумісної діяльності студентів під час лабораторних робіт є спільно-взаємодіюча форма у малій групі.

Як елемент навчання і підсумкового контролю застосовується публічне обговорення та захист виконаних лабораторних робіт.

Бібліографічні посилання

1. Линник А. К. Методичні вказівки до лабораторних робіт з курсу «Конструювання літальних апаратів» - ДНУ, ФТФ, 2009.
2. Сидоренков А. В. Психология малой группы: методология и теория – М.: Из-во Юрайт, 2019.

Надійшла до редколегії 20.05.2019

УДК 621.7.064.52

К. В. Безручко¹, С. В. Синченко¹, В. С. Рева²

¹ *Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ»*,

² *Государственное предприятие «КБ «Южное им. М. К. Янгеля»*

АНАЛИЗ И ВЫБОР ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ НАКОПИТЕЛЕЙ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ЭНЕРГОУСТАНОВОК ДОЛГОЖИВУЩИХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

У статті розглянуто аналіз і вибір електрохімічних накопичувачів енергії для енергоустановок космічних апаратів довготривалої експлуатації. Розглянуті космічні апарати за висотою орбіти, умовами експлуатації їх енергоустановок, наведений аналіз різних за типом електрохімічних акумуляторів, що входять до енергоустановок космічних апаратів.

Ключоі слова: *космічний апарат, орбіта, енергоустановка, електрохімічний акумулятор.*

В статье рассмотрен анализ и выбор электрохимических накопителей энергии для энергоустановок космических аппаратов длительной эксплуатации. Рассмотрены космические аппараты по высоте орбиты, условиями эксплуатации их энергоустановок, приведен анализ различных по типу электрохимических аккумуляторов, входящих в энергоустановку космических аппаратов.

Ключевые слова: *космический аппарат, орбита, энергоустановка, электрохимический аккумулятор.*

The article describes the analysis and selection of electrochemical energy storage devices for power plants of long-term spacecraft. The space vehicles are examined according to the height of the orbit, the operating conditions of their power plants, and an analysis is made of electrochemical accumulators of various types included in the power plant of space vehicles.

Keywords: *spacecraft, orbit, power plant, electrochemical battery.*

Введение. Большинство современных космических аппаратов, которые работают на высоких и в том числе на геостационарных орбитах, имеют проектный ресурс от 10 до 18 лет (рис. 1).

В результате проведенного анализа [1-8], выяснилось, что запуск долгоживущих спутников предполагает использование высоких орбит (рис.2). И действительно, проведенная оценка всех орбит по основным показателям показала, что наиболее полно отвечает этим требованиям геостационарная орбита.

В число крупнейших мировых производителей коммерческих геостационарных спутников (например, для связи) входят следующие компании и фирмы: «Loral», «Hughes/Boing» (США), «Alkatel» (Франция), «Astrium» (Германия), НПО ПМ (Россия) и др.

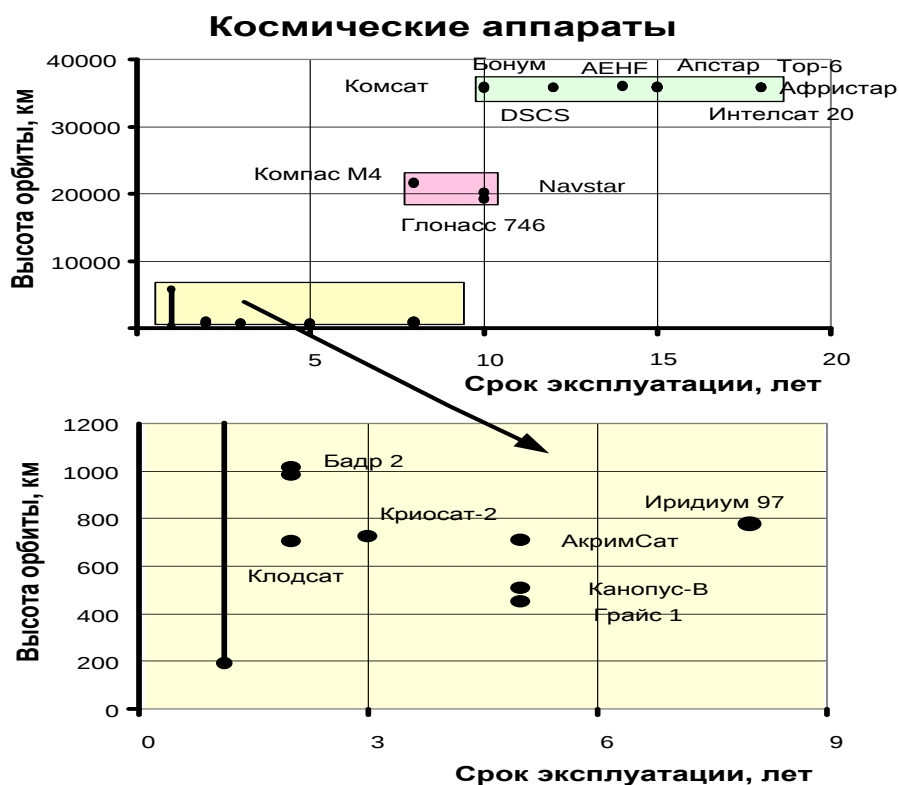


Рис. 1. Ресурс различных космических аппаратов

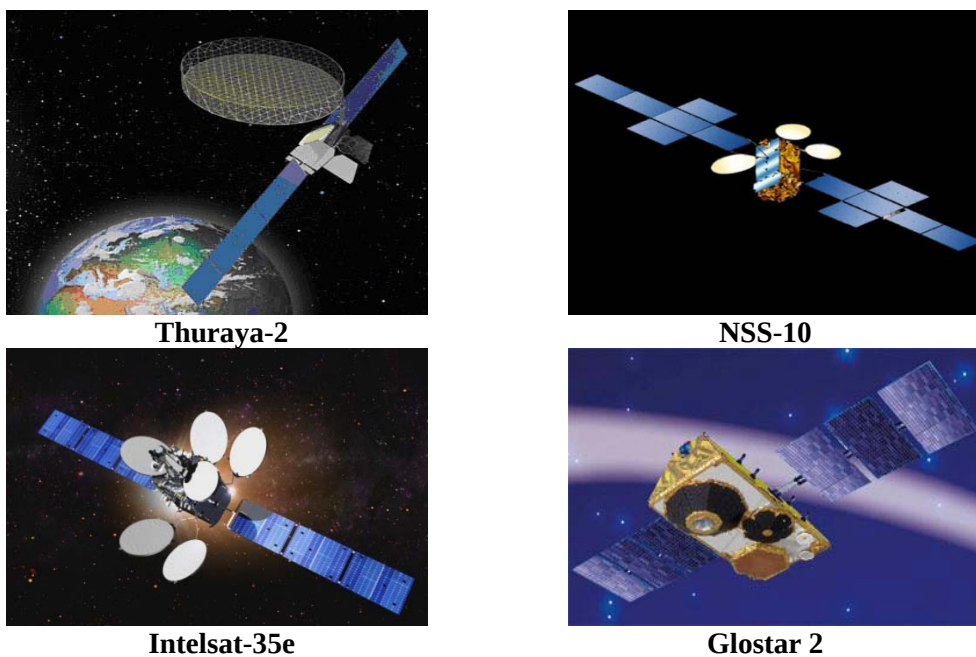


Рис.2. Выскоорбитальные космические аппараты (примеры)

Применение электрохимических накопителей энергии для энергоустановок космических аппаратов

Система энергоснабжения космического аппарата (КА) предназначена для выработки, хранения, регулирования и распределения электроэнергии на

всех этапах работы космического аппарата на орбите. Выход из строя системы энергоснабжения ведет к отказу всего космического аппарата.

Одним из наиболее критичных элементов энергоустановок космических объектов является накопитель энергии. В зависимости от условий работы космического объекта к электрохимическим накопителям, входящим в состав системы электроснабжения, выдвигается следующий ряд требований (табл.1): возможность обеспечения большего количества циклов заряда-разряда, возможность обеспечения длительной сохранности энергии и др.

Таблица 1

Эксплуатация электрохимических аккумуляторов и батарей в составе современных долгоживущих космических аппаратов

Название КА	Страна	Орбита	Масса, кг	Ресурс, лет	Тип аккумуляторной батареи
NSS 6	Netherlands	GEO	4700	14	NiH ₂
NSS 10	USA	GEO	4979	16	Li-ion
Thuraya-2 and3	United Arab Emirates	GEO	5177	12	Li-ion
Hot Bird 8	International	GEO	4875	15	Li-ion
KazSat 2	Kazakhstan	GEO	1330	12	Li-ion
Intelsat 16	International	GEO	2056	15	Li-ion
Nilesat 201	Egypt	GEO	3200	15	Li-ion
Eutelsat KA-SAT 9A	International	GEO	6150	15	Li-ion
Elektro-L 1	Russia	GEO	1740	10	NiH ₂
Kosmos 2471	Russia	19100 км	935	10	NiH ₂
Globalstar 92	USA	1410 км	700	15	Li-ion
Intelsat 22(IS 22)	USA	GEO	6199	18	Li-ion
APSTAR 7	China	GEO	5054	15	Li-ion
Метеор	Россия	Солн.-синхр., круговая	2476	3	NCd
Горизонт	Россия	GEO	2100	5	NiCd

Типы электрохимических накопителей в зависимости от назначения космических аппаратов

Обзор источников информации [1-10] показал, что выполнение современных задач, решаемых объектами ракетно-космической техники, требует длительной эксплуатации этой техники.

В зависимости от характеристик орбит, на которых работают космические аппараты, энергоустановки, работают в разных условиях (см. рис.3): так при эксплуатации космических аппаратов на низких орбитах электрохимический аккумулятор за время эксплуатации подвергается значительно большему количеству циклов заряда-разряда (рис. 4, 5, 6), чем при эксплуатации космических аппаратов на высоких орбитах.

Исходя из требований к аккумуляторам по количеству циклов и ресурсу в составе энергоустановок космических аппаратов применяют в основном 3 типа электрохимических аккумуляторов : никель-кадмиевые; никель-водородные и литий-ионные.



Рис. 3. Электрохимические аккумуляторы различных космических аппаратов

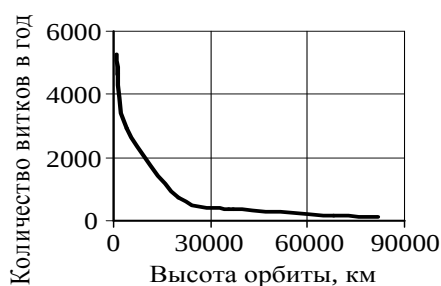


Рис. 4. Изменение количества витков космического аппарата в год в зависимости от высоты орбиты

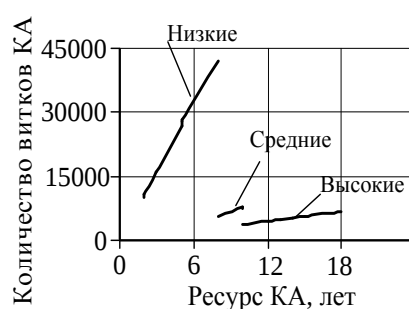


Рис. 5. Изменение количества витков космического аппарата в зависимости от его ресурса и высоты орбиты

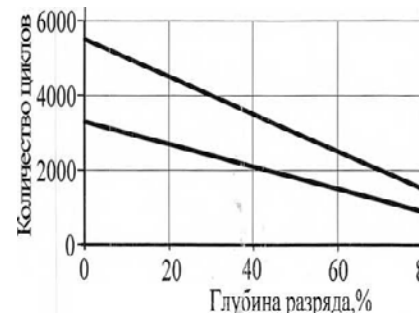


Рис. 6. Изменение количества циклов заряда-разряда никель-кадмиевых аккумуляторов от глубины разряда

В настоящее время не решены вопросы создания и применения эффективных путей и методов обеспечения длительных сроков эксплуатации

электрохимических аккумуляторов энергоустановок современных ракетно-космических объектов.

Так как аккумуляторные батареи являются составляющей частью энергоустановок и в значительной степени влияют на их работоспособность и ресурс, вопрос о применении наиболее оптимального типа электрохимической системы является актуальным.

Выбор конкретных типов накопителей для использования в системе электроснабжения КА определяется несколькими факторами:

- условиями работы в составе энергоустановки;
- режимом работы электрохимического аккумулятора в составе энергоустановки;
- временем функционирования; уровнем и видом циклограммы электропотребления;
- удельными характеристиками электрохимических аккумуляторов;
- стоимостью электрохимических аккумуляторов и энергоустановки в целом.

Для достижения высокой надежности и исключительных требований к производительности в течение продолжительного срока службы аккумуляторной батареи в процессе сборки соблюдаются строгие стандарты. Электрохимические аккумуляторы проходят строгие испытания: максимальная зарядная емкость, пиковое напряжение, внутреннее сопротивление, скорость разряда и конечное напряжение разряда, температура тесно согласованы между всеми аккумуляторами, чтобы гарантировать выполнение всех заявленных при проектировании требований.

Современные аккумуляторы способны выдержать тысячи циклов заряда-разряда, что позволяет эксплуатировать их в течение десятков лет без замены [4, 5]. Для ракетно-космических объектов, где обеспечение длительного ресурса и высокой надежности являются одним из основных требований, эта особенность весьма важна, и определяет широкое применение аккумуляторов различных электрохимических систем [7, 8].

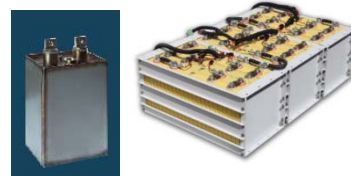
Никель-кадмиевые аккумуляторы и батареи (рис. 7а) на их основе являются в настоящее время основным типом накопителей энергии, применяющимся в составе энергоустановок космических аппаратов. Никель-кадмиевые аккумуляторы используются чаще всего в составе энергоустановок космических аппаратов среднего ресурса (до нескольких лет). Никель-кадмиевые аккумуляторы также применяются в составе ракетных комплексов, где они находятся в дежурном режиме длительное время (10...20 лет) (с периодической их заменой).



а) никель-кадмиевый
герметичный
аккумулятор и
батарея



б) никель-водородные
аккумуляторы
и батарея



в) литий-ионный
аккумулятор и батарея

Рис. 7. Внешний вид различных типов электрохимических аккумуляторов и батарей различных ракетно-космических объектов

Никель-водородные аккумуляторы и батареи (рис. 7 б) были изобретены в начале 60-х годов и усилия разработчиков этих аккумуляторов направлены на достижение максимального срока службы, безопасности и значительной глубины разряда [7-10].

Литиевые аккумуляторы и батареи (рис. 7 в) и батареи на их основе представляют собой широкий класс аккумуляторов с различными эксплуатационными характеристиками. Химические батареи на основе литиевых аккумуляторов считаются очень перспективными для использования в составе энергоустановок космических аппаратов. Однако их развитие все еще находится на стадиях исследований.

Срок службы электрохимических аккумуляторов определяется рядом факторов, главным из которых являются: деградация источника электрической энергии, в том числе и для электрохимических батарей.

Критическими факторами для КА являются: деградация солнечных и электрохимических батарей и случайный отказ их блоков.

Анализ рынка аккумуляторов различных электрохимических систем [8-10] (рис. 8) показал, что по удельным характеристикам наиболее предпочтительные для использования в космической технике являются аккумуляторы фирм: The Saft Group (США) – литий-ионной электрохимической системы (удельная энергия достигает значения до 165 Вт·ч/кг) и НПО «ССК» (Россия) – литий-полимерной системы (удельная энергия достигает значения до 178,5 Вт·ч/кг).

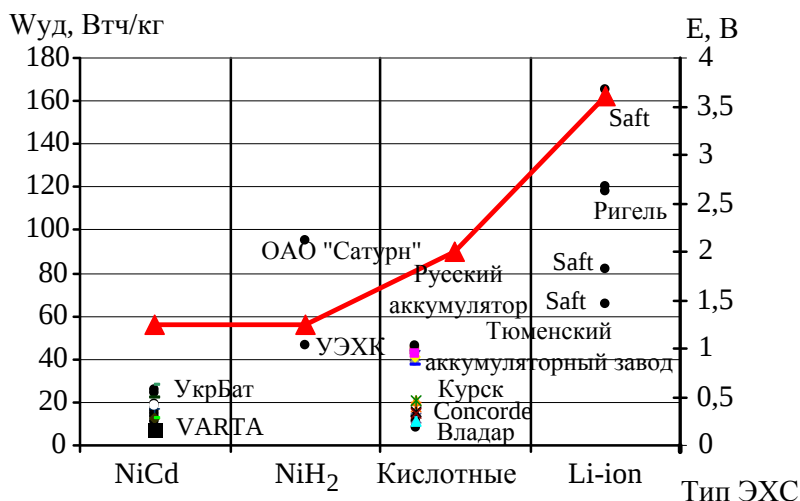


Рис. 8. Достижения различных фирм-производителей электрохимических аккумуляторов

Среди других электрохимических систем выделяются такие фирмы как: ЗАО «УкрБат» (Украина) с аккумуляторами никель-кадмиевой электрохимической системы (удельная энергия достигает значения до 26 Вт·ч/кг); The Saft Group (США) – никель-металлгидридная электрохимическая система (удельная энергия – 66 Вт·ч/кг); Группа компаний «Русский аккумулятор» (Россия); ОАО «Тюменский аккумуляторный завод» – свинцово-кислотные аккумуляторы (удельная энергия – 48 Вт·ч/кг).

Основные параметры электрохимических аккумуляторов, применяемых в составе энергоустановок ракетно-космических объектов, приведены в табл. 2

Таблица 2

Сравнение основных характеристик электрохимических аккумуляторов, применяемых на длительно эксплуатируемых ракетно-космических объектах

Параметры	Никель-кадмиевые	Никель-водородные	Литий-ионные
Номинальное напряжение, В	1,2	1,5	3,6
Плотность энергии, Вт·ч/кг	30...40	50...90	90...120
Удельная мощность, Вт/кг	150	100	1800
Ресурс, полных циклов	1500	3000	800
Ресурс, при эксплуатации согласно инструкции, лет	7	10	18
Саморазряд в месяц	20%	30%	10%
Надежность (снижение емкости в год на..., %)	20%	30%	10%
Рабочая температура, °С	-20...60	-20...40	-20 ...60
Стоимость, долл/Вт·ч	7	8	5
Производители, *	2, 3, 4, 6, 7	8, 9	1, 5, 10-18
* Фирмы-производители аккумуляторов:			
1 – The Saft Group (США); 2 – VARTA (США);		10 – SONY (Япония); 11 – SONYO (Япония);	

3 – Concorde (США);	12 – MATSUSHITA (Япония);
4 – ЗАО УкрБат (Украина);	13 – TOSHIBA (Япония);
5 – ОАО «Аккумуляторная компания «Ригель» (Россия);	14 – BYD Battery Co. (Китай);
6 – Курский завод «Аккумулятор» (Россия);	15 – LG Electronics Inc. (Китай);
ОАО «Тюменский аккумуляторный завод» (Россия);	16 – Samsung Electronics Co. (Южная Корея);
7 – Группа компаний «Русский аккумулятор» (Россия);	17 – ООО «Инженерная фирма Орион-ХИТ» (Россия);
8 – НВАБ УЭХК (Россия);	18 – EEMB (Китай);
9 – ОАО «Сатурн» (Россия);	

Анализ значений параметров и характеристик аккумуляторов в зависимости от условий эксплуатации и режимов их работы

Для электрохимических аккумуляторов величиной, определяющей массогабаритные характеристики, является плотность энергии. С этой точки зрения наиболее перспективными являются литий-ионные аккумуляторы. Однако при эксплуатации электрохимических аккумуляторов в составе энергоустановок ракетно-космических объектов ограничивающими факторами является также ресурс аккумулятора – возможность работы аккумулятора не только длительное время, но и возможность аккумулятора выдерживать большое количество циклов заряда-разряда.

Для того чтобы обеспечить длительный срок эксплуатации электрохимических аккумуляторов на борту ракетно-космических объектов необходимо кроме проектных параметров аккумуляторов особое внимание уделить эксплуатационным параметрам этих аккумуляторов (таблица 2) и возможности применения различных типов аккумуляторов на различных ракетно-космических объектах.

Практика показывает, что ресурс электрохимических аккумуляторов определяется не только совершенством конструкции аккумулятора, но и условиями его эксплуатации, поскольку при проектировании энергоустановок, как правило, основное внимание уделяется выходным характеристикам, а не обеспечению оптимального режима эксплуатации аккумуляторов. В таких случаях проявляется снижение технического ресурса за счет ускорения процессов деградации аккумуляторов вследствие неблагоприятных условий эксплуатации, которые необходимо учитывать.

Критерии истечения ресурса также определяются согласно режимам и условиям эксплуатации. Так при эксплуатации в дежурном режиме без подзаряда необходимо учитывать в первую очередь сохраняемость заряда. В большинстве случаев для определения факта истечения ресурса аккумуляторов достаточно оценки по величине разрядной емкости.

Достижение заданного ресурса космического аппарата осуществляется за счет увеличения емкости химических батарей, их резервирования и применения новых типов аккумуляторов, что приводит к существенному удорожанию космического аппарата.

К энергетическим установкам для космических исследований предъявляется требование высокой удельной энергии, так как стоимость запуска в космос резко возрастает с увеличением массы. Например, уменьшение массы запускаемого аппарата на 200 кг приводит к экономии 30 млн. долл. США. Поэтому резервирование аккумуляторов в СЭС значительно влияет на стоимость запуска КА. Но не все аккумуляторы подвергаются резервированию. Например, литий-ионные аккумуляторы начинают деградировать уже с момента изготовления, поэтому ставить резервы на борт КА считается нецелесообразным. Такие батареи должны обладать сверхвысокой надежностью, но масса КА с литий-ионными батареями на борту будет значительно ниже. Замена никелевых аккумуляторов на литий-ионный позволяет снизить массу энергоустановки на 35-40%, сократить мощность зарядных устройств благодаря более высокой отдаче по энергии и уменьшить площадь радиатора для отвода теплоты. Объем использованных в космосе в 2000 г. литий-ионных аккумуляторов составил 12 млн шт.

При выборе электрохимических накопителей энергии для энергоустановок долгоживущих космических аппаратов предлагается анализировать стоимость вывода аккумуляторов на заданную орбиту. Стоимость вывода 1 кг груза на низкую орбиту составляет 20 тыс. дол. США, на геостационарную орбиту до 30 тыс. дол. США.

Исходя из проанализированных величин емкости аккумулятора, выберем среднюю емкость, которую может обеспечить любой из предложенных выше типов аккумуляторов – 380 А·ч. Итак, литий-ионная батарея емкостью 380 А·ч будет стоить приблизительно 1000 дол. США. Цена никель-водородных и никель-кадмиевых батарей той же емкости будет несколько дешевле 250-500 дол. США.

Таблица 3

Особенности электрохимических аккумуляторов различных электрохимических систем, их достоинства и недостатки

Никель-кадмиевый	Никель-водородный	Литий-ионный
достоинства		
Накопленный большой опыт производства. Отработанность конструкции. Высокая надежность. Низкая стоимость. Высокая устойчивость к перегрузкам. Возможность восстановления.	Хорошие энергетические емкостные показатели. Низкая удельная масса. Высокая продолжительность времени активной работы. Возможность обеспечения больших разрядных токов	Высокое напряжение. Большая удельная емкость. Высокая плотность энергии. Относительно небольшой саморазряд. Низкая стоимость обслуживания. Отсутствие «эффекта памяти»
недостатки		
Небольшие значения удельных энергетических и емкостных показателей. Экологически загрязнен, так как кадмий является	Относительно большой удельный объем. Нетерпимость к перезаряду и переразряду.	Более высокая первоначальная стоимость. Малая тепловая стабильность, возможность воспламенения лития.

высокотоксичным веществом. Сложность в утилизации и переработке. Подверженность деградации. Небольшая допустимая глубина разряда. Наличие «эффекта памяти».		Необходимость применения встроенной схемы защиты. Подверженность старению. Затруднено быстрое тестирование АК.
---	--	--

Для емкости литий-ионная батарея будет иметь массу приблизительно 25 кг, никель-кадмиевая – 34 кг, никель-водородная – 50 кг. Масса аккумуляторной батареи может варьироваться в диапазоне от 6 до 80 кг в зависимости от типа, количества аккумуляторов в батарее, емкости.

Проведем расчет общей стоимости системы энергоснабжения с учетом стоимости аккумуляторных батарей по формуле (результаты приведены в табл.4):

$$C_{\text{полн.}} = (C_1 + C_2 + C_3 + \dots C_n) + (C_{\text{груза}} M_{\text{сп}}),$$

где $C_1, C_2, \dots, C_n$ – стоимость устройства преобразования мощности, системы управления потоком мощности, аккумулирующий элемент соответственно; а также следует учитывать стоимость удельных энергии, и мощности и систему безопасности, особенно для химических накопителей энергии на основе литий-ионных элементов. Стоимость аккумуляторной батареи следует определять из учета количества элементов, входящих в неё;

$C_{\text{груза}}$ – стоимость груза;

$M_{\text{сп}}$ – масса системы, которая зависит от количества входящих в неё элементов.

Окончательную стоимость системы энергоснабжения можно определить, если стоимость вывода 1 кг груза на орбиту (стоимость может изменяться в зависимости от типа орбиты) умножить на общую массу спутника (без учета системы энергоснабжения). Таким образом, сумма двух выше упомянутых составляющих даст стоимость системы энергоснабжения.

Таблица 4

Расчет общей стоимости системы электроснабжения с различными типами аккумуляторных батарей

Тип аккумуляторной батареи	Масса аккумуляторной батареи (с учетом резервирования), кг	Стоимость 1 кг выводимого груза, тыс. дол. США	Общая стоимость системы энергоснабжения, тыс. дол. США
Литий-ионная	A (без резервирования)	15*A	15*A
Никель-водородная	2*(1,5A)	15*(2*1,5A))	15*3A
Никель-кадмиевая	3*(2A)	15*3(*2A))	15*6A

* Стоимость 1 кг выводимого груза принимаем равной 15 тыс.дол. США, при необходимости расчета для GEO орбит значение увеличивается в 2 раза.

Выводы. В результате проведенного анализа современных перспективных типов электрохимических аккумуляторов энергоустановок

высокоорбитальных космических аппаратов (см. рис.8, табл.1,2; табл. 4,5) можно заключить, что на выбор типа электрохимического аккумулятора влияют в первую очередь условия эксплуатации и режимы работы аккумулятора при учете значений сравнительных параметров приведенных в данной работе.

Библиографические ссылки

1. Mukund R. Patel, Spacecraft power systems / R. Patel Mukund - New York, Washington D.C.: CRC Press, Boca Raton. -2008. - 734p.
2. Конюхов С. Н. Научно-технические направления разработок космических аппаратов КБ "Южное" им. М. К. Янгеля/ С. Н. Конюхов // Космічна наука і технологія. - 1995. - №1. - С. 12 - 34.
3. Ванке, В. А. Космические энергосистемы / В. А. Ванке и др. М.: Машиностроение. 1990. – 144 с.
4. Солнечные энергосистемы космических аппаратов. Физическое и математическое моделирование / К.В. Безручко, Н.В. Белан, Д.Г. Белов и др. / Под ред. акад. НАН Украины С.Н. Конюхова. – Харьков: Гос. аэрокосмический ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2000 г. – 515 с.
5. Johnson P.J. Battery Performance OfThe Skynet 4a Spacecraft. Final Report / P.J.Johnson, N.R.Francis - Hertfordshire, SGI 2AS: England Marta Marconi Space UK Ltd, 1999.-650p.
6. Даниев, Ю. Ф. Космические летательные аппараты. Назначение, структура и основные этапы создания: Учеб. пособие для студ. инж. спец. вузов / Ю. Ф. Даниев, А. В. Демченко, В. С. Зевако, А. М. Кулабухов, В. В. Хуторный; ред.: А. Н. Петренко; Нац. косм. агентство Украины. - Д. : Систем. технологии, 2005. - 123 с.
7. Безручко, К.В. Научно-технические аспекты разработки, изготовления и эксплуатации систем электроснабжения космических аппаратов / К.В. Безручко, В.Н. Борщов, А.О. Давидов, Н.В. Замирец, О.Н. Замирец, А.М. Листратенко, И.Т. Перекопский, И.Б. Туркин, Ю.А. Шовкопляс // Авіаційно-космічна техніка і технологія. – 2011. – №5 (82) – С.8-13.
8. Каталог продукции. Никель-кадмиевые аккумуляторы [Электрон. ресурс] / ОАО «НИАИ «Источник»., 2008. – Режим доступа: <http://www.niai.ru/catalog.php?id=10> – 20.12.2018.
9. Литий -ионные аккумуляторные батареи низкоорбитальных космических аппаратов / А.В. Хромов //Вопросы электромеханики Т. 152, 2016, С.20-28. [Электрон. ресурс]. Режим доступа: <http://jurnal.vniiem.ru/text/152/20-28.pdf> – 20.12.2018.
10. Выбор структуры системы электроснабжения низкоорбитальных космических аппаратов/Ю.А. Шиняков, А.С. Гуртов, К.Г. Гордеев, С.В. Ивков/ Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета №1(21), 2010. – С.103-113.

Надійшла до редколегії 25.03.2019

УДК 621.762

Е. В. Карпович, И. И. Карпович, А. В. Кулик

Днепропетровский национальный университет имени Олеся Гончара

СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ ПРИ ЛАЗЕРНОЙ НАПЛАВКЕ ОДИНОЧНОГО ВАЛИКА НА ПОДЛОЖКУ И НАГРЕВА СЛОЯ ПОРОШКА В ТРАНСПОРТИРУЮЩЕМ ГАЗЕ

В роботі виконано порівняльний аналіз фізичних і математичних моделей нагріву частинок порошку під час лазерного наплавлення одиночного валика на субстрат і нагрівання шару порошку в транспортуючому газі. Визначено температурні поля в шарі порошку та одиночному валику на субстраті. Показано, що нагрітий шар порошку необхідно розглядати як джерело теплоти з нерівномірним розподілом температури в радіальному напрямку.

Ключові слова: коаксіальна лазерне наплавлення, джерело теплоти, металевий порошок, потік частинок.

В работе выполнен сравнительный анализ физических и математических моделей нагрева частиц порошка при лазерной наплавке одиночного валика на подложку и нагрева слоя порошка в транспортирующем газе. Определены температурные поля в слое порошка и одиночном валике на подложке. Показано, что нагретый слой порошка необходимо рассматривать как источник теплоты с неравномерным распределением температуры в радиальном направлении.

Ключевые слова: коаксиальная лазерная наплавка, источник теплоты, металлический порошок, поток частиц.

A comparative analysis of physical and mathematical models of heating the powder particles during laser deposition of a single roller on the substrate and heating of the powder layer in the carrier gas was performed. The temperature fields in the powder layer and a single roller on the substrate are determined. It is shown that the heated layer of the powder should be considered as a heat source with an uneven temperature distribution in the radial direction.

Keywords: coaxial laser deposition, heat source, metal powder, particle flow.

Современный уровень развития науки и техники требует для создания различных конструкций применения металлов и сплавов, обладающих высокими прочностными, физическими и механическими свойствами, работающих в условиях агрессивных сред при различных температурах и нагрузках в изделиях ракетно-космической техники. В связи с этим особое значение приобретает получение функциональных изделий из такого класса материалов с минимальными затратами времени на отработку конструкции и производство готового изделия.

Наиболее перспективным методом быстрого формообразования и прототипирования изделий является объемный (3D) синтез с коаксиальной лазерной наплавкой металлических порошков. Данная технология позволяет с высокой точностью создавать детали практически любой сложности. При этом материал деталей, изготовленных коаксиальной лазерной наплавкой, имеет уровень физико-механических свойств, соответствующий или превышающий традиционным технологиям. Особенно важно, что 3D-синтез с наплавкой металлических порошков позволяет быстро изменять состав материала путем внесения в расплав разных порошков. Это дает возможность разрабатывать гибридные или градиентные металлические композиты [1, 2].

Разработка технологии 3D - синтеза с лазерной наплавкой металлических порошков и ее внедрению в промышленность уделяется большое внимание. Однако физика этих процессов ввиду их сложности изучена недостаточно, и оптимизация параметров каждого типа установки осуществляется, в основном, эмпирическим способом.

Целью данной работы являются сравнительные теоретические исследования температурных полей при лазерной наплавке одиночного валика на подложку и нагрева слоя порошка в потоке газа.

Проведено много теоретических и экспериментальных исследований потоков газа с частицами в коаксиальном сопле при лазерной наплавке. Результаты исследований показали, что поток частиц в области действия луча имеет форму внутреннего конуса (рис. 1), угол которого соответствует углу расположения каналов в коаксиальном сопле [3, 4]. При этом скорость частиц составляет 1,5...2 м/с.

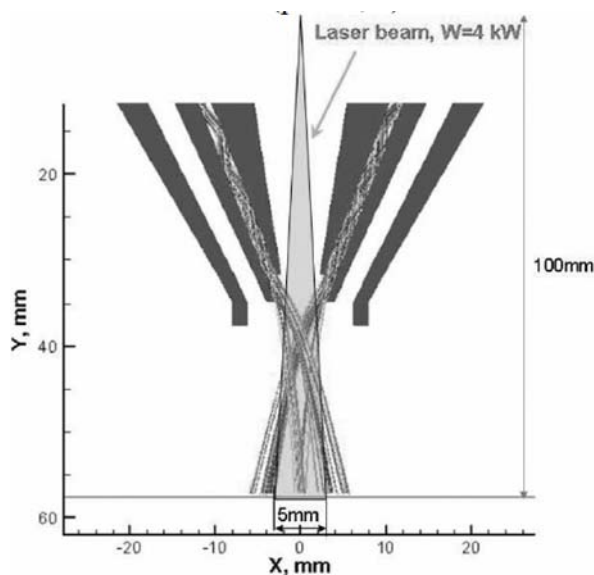


Рис. 1. Поток частиц в области действия луча

Если принять, что поток частиц является ламинарным, то можно определить время формирования нового слоя, которое будет зависеть от диаметра частиц:

$$t_c = d_q/v_{\text{п}}, \quad (1)$$

где t_c – время формирования слоя, с; d_q – диаметр частиц, м; $v_{\text{п}}$ – скорость движения частиц, м/с.

Лазерный луч всегда будет действовать на вновь сформированный слой. Предыдущий слой, нагретый до некоторой температуры лазерным излучением, будет двигаться далее к подложке без теплообмена с другими слоями.

Время движения частиц к подложке можно определить по формуле:

$$t_{\text{подл}} = S/v_{\text{п}}, \quad (2)$$

где $t_{\text{подл}}$ – время движения частиц до подложки, с; S – расстояние до подложки, м. Очевидно, что время формирования слоя частиц и время нагрева частиц до температуры в диапазоне значений от температуры плавления $T_{\text{пл}}$ до температуры кипения $T_{\text{кип}}$ должно быть меньше, чем время движения частиц до подложки.

Принимая скорость движения частиц равной 1,5 м/с, и граничные размеры частиц порошка 50 мкм = $0,05 \cdot 10^{-3}$ м и 100 мкм = $0,1 \cdot 10^{-3}$ м, время формирования слоя будет составлять, соответственно, $0,03 \cdot 10^{-3}$ м/с, $0,06 \cdot 10^{-3}$ м/с.

Применительно к наплавке сплава Inconel 718 на подложку, расположенную на расстоянии 7 мм = $7 \cdot 10^{-3}$ м от сопла, время движения нагретого слоя частиц к подложке будет составлять $4,6 \cdot 10^{-3}$ с.

Для определения времени нагрева слоя частиц до требуемой температуры необходимо провести дополнительные исследования.

Численный эксперимент проводился для сплава Inconel 718. Теплофизические свойства данного сплава приведены в таблице 1 [5].

Таблица 1

Теплофизические свойства сплава Инконель 718

Свойства	Инконель 718
Плотность, кг/м ³	$8,2 \cdot 10^3$
Температура плавления, °С (К)	1336 (1609)
Температура кипения (расчетная $T_{\text{кип}} = 2T_{\text{пл}}$), °С (К)	2672 (3218)
Теплопроводность, Вт/м с	11,4
Теплоемкость, Дж/кг с	435
Температуропроводность, м ² /с	$3,2 \cdot 10^{-6}$

Рассматривался нестационарный процесс нагрева слоя в форме конуса при действии лазерного луча диаметром 1 мм и мощностью 500 Вт (рис. 2).

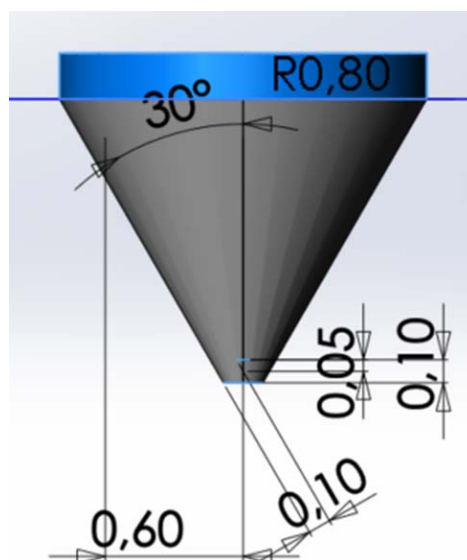
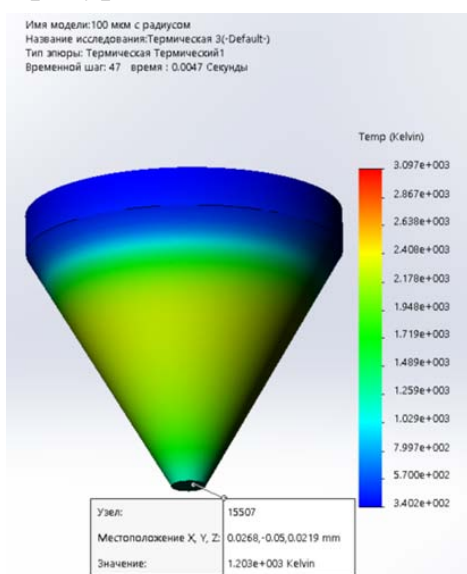


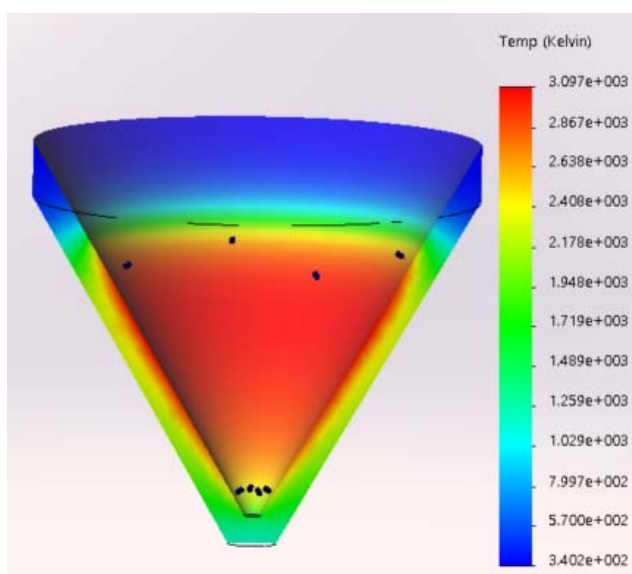
Рис. 2. Слой порошка из частиц размером 100 мкм

Тепловой поток, с учетом коэффициента отражения излучения для никеля 0,7, составляет $1,9 \cdot 10^8$ Вт/м².

За время движения к подложке $4,6 \cdot 10^{-3}$ с слой частиц 100 мкм на нижней поверхности, контактирующей с подложкой, имеет температуру ниже температуры плавления $T_{пл} = 1609$ К (рис.3).



а)



б)

Рис. 3. Распределение температуры в слое частиц размером 100 мкм:

а – на нижней поверхности; б – в осевом сечении слоя

Время прогрева нижней поверхности до $T_{пл}$ составляет $\approx 5 \cdot 10^{-3}$ с. На поверхности воздействия луча температура выше $T_{кип} = 3218$ К и часть материала испарится. Время прогрева слоя 100 мкм по всему сечению превышает время движения частиц к подложке и частицы, расположенные у

вершины конуса, будут не полностью расплавлены и не смогут образовать прочное соединение на подложке или предварительно образованном слое. Для частиц размером 50 мкм время нагрева нижней поверхности слоя составляет $2,8 \cdot 10^{-3}$ с, что меньше t_c и $t_{\text{подл}}$, и частицы расплавятся полностью (рис. 4).

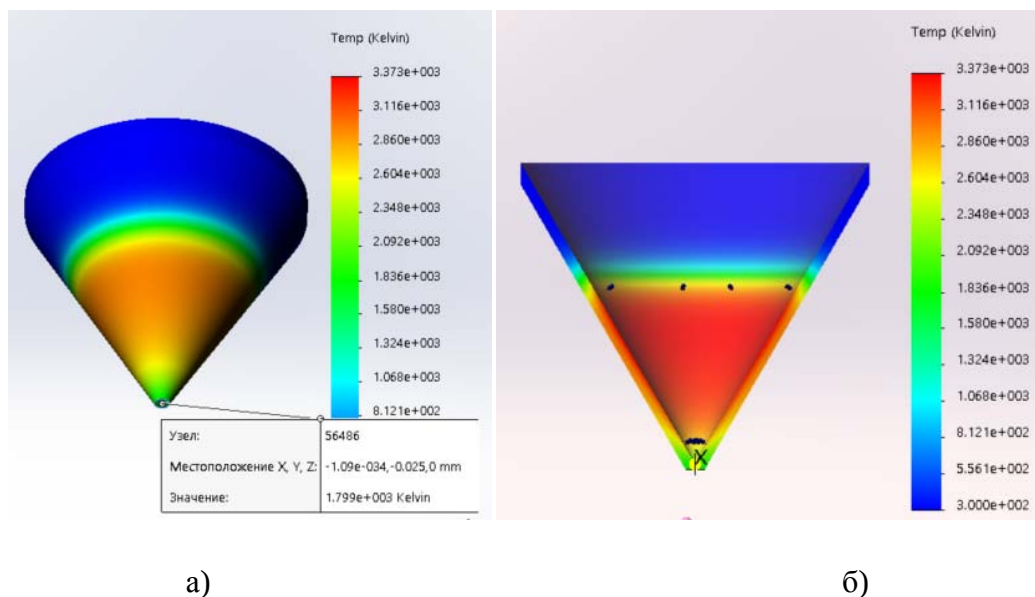


Рис. 4. Распределение температуры в слое частиц размером 50 мкм:
а – на нижней поверхности; б – в осевом сечении слоя

В результате проведенных исследований можно сделать вывод, что при формировании слоя порошка из частиц размером от 50 до 100 мкм, воздействию лазерного луча мощностью 500 Вт и скорости движения частиц в потоке газа 1,5 м/с не все частицы будут полностью расплавленными в момент осаждения на подложку. При этом массовая подача порошка должна составлять 15,3 г/мин, а скорость наплавки – 40 мм/с для слоя толщиной 0,5 мм (определено из формулы определения массового расхода в отчете 1).

Согласно выбранному оборудованию, максимальный массовый расход порошка составляет 11 г/мин, что соответствует времени формирования слоя $3,6 \cdot 10^{-3}$ с для частиц размером 50 мкм и $7,2 \cdot 10^{-3}$ с – 100 мкм. Следовательно, для полного расплавления частиц 100 мкм необходимо снижать массовый расход или скорость движения частиц в потоке.

Данные расчеты требуют экспериментальной проверки.

Результаты расчета также позволили установить, что на подложку или предварительно сформированный слой действует объемный источник теплоты, в виде расплавленного слоя, с неравномерным распределением температуры по радиусу и толщине.

На следующем этапе моделирования процесса лазерной наплавки порошка сплава Inconel 718 необходимо выполнить поэтапные исследования полей температур на подложке с учетом скорости перемещения данного источника, что позволит смоделировать процесс формирования валика и

определить время охлаждения до температуры 1000K. Также необходимо рассмотреть движение потоков газов из коаксиального сопла на подложку, определить величину защищенной зоны и время обеспечения условий защиты сформированной поверхности, которое должно быть больше или равным времени охлаждения.

Математическое исследование температурных полей при наплавке одиночного валика на подложку проводилось для сплава Инконель 718.

Геометрические размеры валика и подложки приведены на рис. 5.

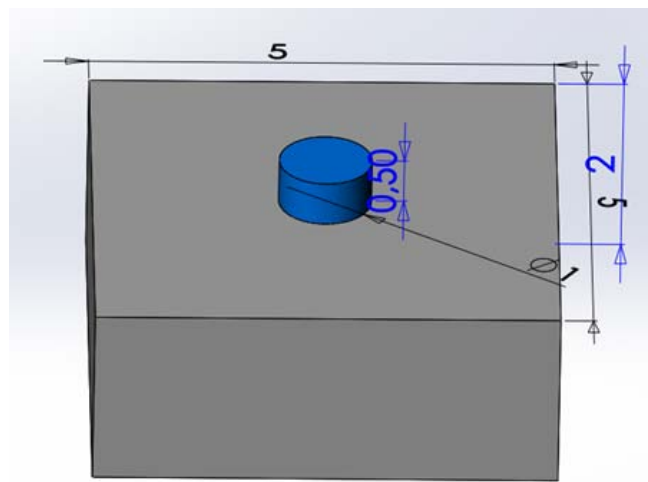


Рис. 5. Геометрическая модель одиночного валика и подложки

Размеры валика соответствуют предполагаемым параметрам наплавки при характерном времени воздействия луча на наплавляемый металл $t_b = d_0/V$ и определяются диаметром луча лазера $d_0 = 1$ мм и толщиной валика $h = 0,5$ мм. Размеры подложки принимались конструктивно для обеспечения максимального приближения к допущению задачи о воздействии поверхностного источника теплоты.

Для материала подложки также принят сплав Инконель 718.

Тепловой расчет проводился в системе SolidWorks при таких граничных условиях:

- температура на поверхности валика принималась $T_{кип}$;
- температура на нижней поверхности подложки – 293 K;
- на контактных поверхностях между валиком и подложкой коэффициент теплопередачи не учитывается и предполагается глобальный контакт.

Проводился стационарный и нестационарный расчет при воздействии температуры на поверхность валика $T_{кип}$ в течении 1 с (рис. 6).

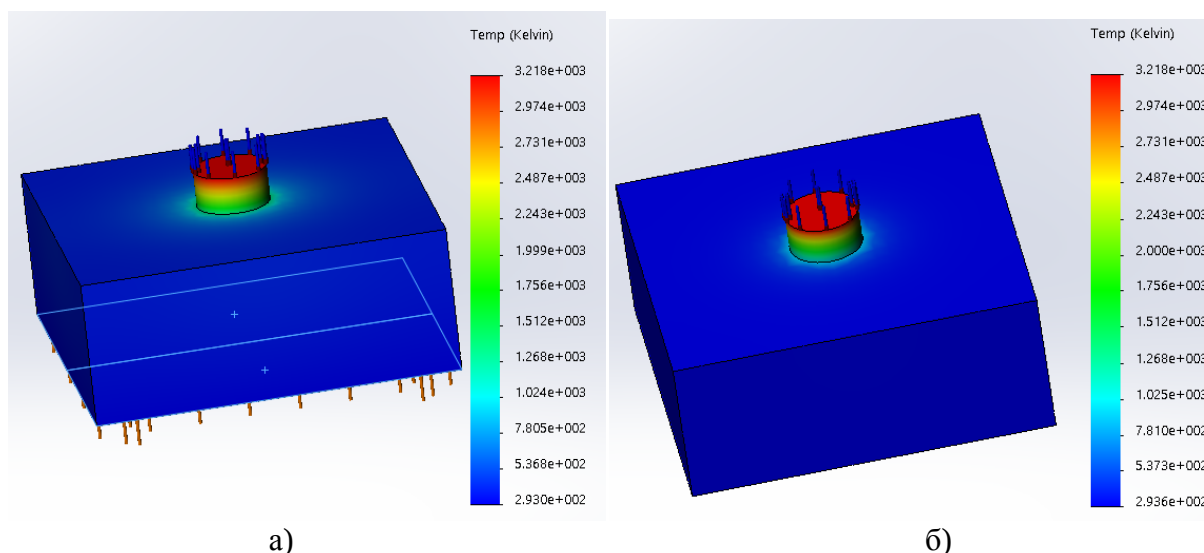


Рис. 6. Результаты расчета температурных полей:
а – стационарный расчет; б – нестационарный расчет

Анализ полученных результатов показал, что на контактной кромке валика с подложкой в обоих вариантах температура ниже, чем $T_{пл} = 1609$ К. Следовательно в этой зоне не будет происходить сплавления наплавленного материала с подложкой. Распределение температур в срединном сечении модели в зоне контакта нижней поверхности валика с подложкой является неравномерным (рис. 7).

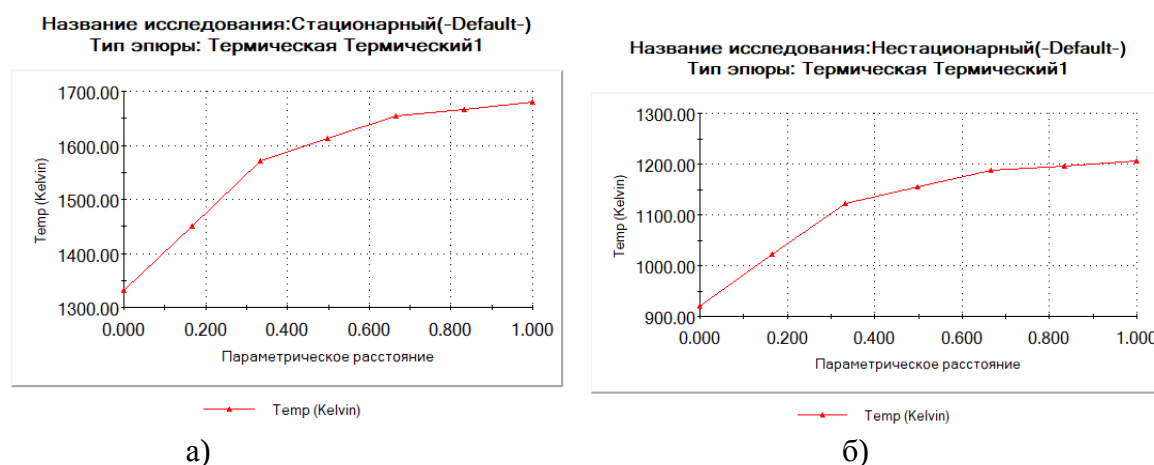


Рис. 7. Распределение температуры по радиусу валика в срединном сечении:
а – стационарный расчет; б – нестационарный расчет

Согласно результатам стационарного расчета зона несплавления составляет $0,5(d_0/2) = 0,25$ мм, соответственно, сцепление валика с подложкой происходит по диаметральной длине 0,5 мм. При нестационарном расчете в контакте валика с подложкой отсутствуют температуры равные или выше $T_{пл}$. Теоретический анализ показал, что для увеличения площади сплавления материала с подложкой или предыдущим слоем необходимо на поверхности

наплавляемого валика создавать температуры равные или превышающие $T_{пл}$ материала. Следовательно, испарение является важным фактором для качественной наплавки, что необходимо учитывать как при определении массовой подачи металлического порошка, так и расчете мощности лазерного луча.

Для определения значения мощности P_T по формуле (3) необходима величина глубины проникания температурной волны вглубь сформированного слоя Δh . Согласно результатам стационарного расчета ее величина по оси наплавленного валика составляет $\approx 0,03$ мм (рис. 8)

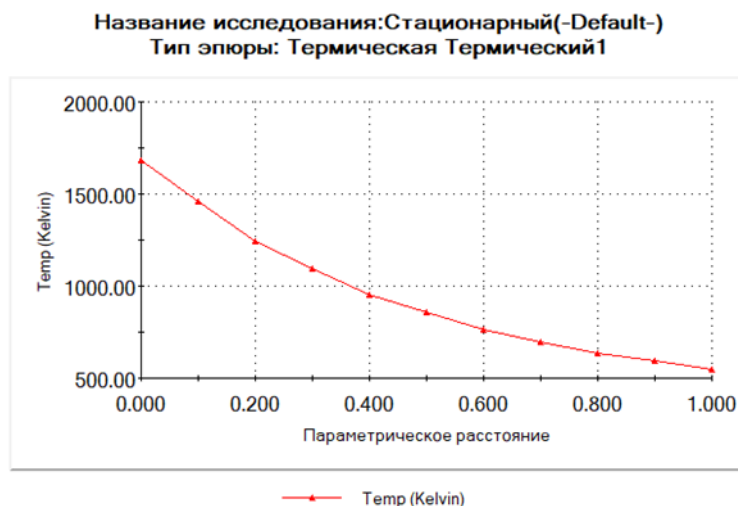


Рис. 8. Распределение температуры по высоте подложки в срединном сечении

Проведенные теоретические исследования распределения температурных полей в зоне наплавки единичного объема валика из порошка сплава Инконель 718 на подложку показали необходимость создания на поверхности наплавляемого валика температуры равной или превышающей $T_{пл}$ материала. Испарение является необходимым фактором для качественной наплавки и данный процесс необходимо учитывать как при определении массовой подачи металлического порошка, так и расчете мощности лазерного луча.

Выводы. Сравнительный анализ результатов теоретических исследований температурных полей при лазерной наплавке одиночного валика на подложку и нагрева слоя порошка в потоке газа показал:

1. Для рассматриваемых физических и математических моделей нагрева слоя порошка лазерным излучением температурные поля значительно отличаются:

- нагрев слоя порошка в виде конуса, при движении в потоке газа к подложке, приводит к возникновению максимальной температуры на периферии и минимальной в центре слоя.
- при нагреве единичного объема непосредственно на подложке максимальное значение температуры находится в центральной области, а на периферии ее значение не достигает $T_{пл}$ материала;

2. Взаимодействие потока порошка с лазерным излучением требует экспериментальной проверки.

3. Для моделирования формирования валика при лазерной наплавке нагретый слой порошка необходимо рассматривать как источник тепла с неравномерным распределением температуры в радиальном направлении.

Библиографические ссылки

1. Шишковский И. В. Лазерный синтез функционально-градиентных мезо- структур и объемных изделий. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009. – С. 424.

2. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук Разработка и исследование технологии выращивания объектов методом коаксиального лазерного плавления порошковых материалов, автор Ставертий А. Я. – 2017 г. – 153 с.

3. Panchenko V.Ya., Golubev V.S., Vasiltssov V.V., Galushkin M.G., Ilyichev I.N. Technologies and Physical Mechanisms of Laser 3D Synthesis of Metallic Powder Materials // X International Conf. Laser and Laser- information Technologies: Fundamental Problem and Applications”, ILLA'2009, VI International Symposium, Laser Technologies and Laser, LTL'2009 (2010), Published by OPTELA 4023 Plodiv, Bulgaria, March 2010. – P. 122–128.

4. Kovalev, O.B.; Zaitsev, A.V.; Novichenko, D.; Smurov, I. Theoretical and Experimental Investigation of Gas Flows, Powder Transport and Heating in Coaxial Laser Direct Metal Deposition (DMD) Process // Journal of Thermal Spray Technology, 2011, Vol. 20, Issue 3, pp. 465–478.

5. https://www.bibusmetals.ru/fileadmin/materials/PDF/catalogs_new_2013/nikel/INCONEL_Alloy_718_RU_EN.pdf – Электронный ресурс.

Надійшла до редколегії 15.05.2019

УДК 681.78:621.979.068

Н.О. Позднышев

ГП «Конструкторское бюро «Южное» им. М.К. Янгеля»

ДИФРАКЦИОННЫЙ МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СЕТОК

Описана методика визначення геометричних характеристик сіток полотняного плетіння з квадратними вічками мікронних розмірів з деформованою структурою плетіння за допомогою аналізу дифракційної картини. Визначена точність методу. Проведені експериментальні заміри. Надані рекомендації щодо використання методу.

Ключові слова: *структура плетіння, лазер, дифракція, дифракційна картина.*

Описана методика определения геометрических характеристик сеток полотняного плетения с квадратными ячейками микронных размеров с деформированной структурой плетения волокон с помощью анализа дифракционной картины. Определена точность метода. Проведены экспериментальные замеры. Приведены рекомендации по применению метода.

Ключевые слова: *структура плетения, лазер, дифракция, дифракционная картина.*

This paper gives a method for determining the geometric characteristics of mesh weave grids with square micron-sized cells with a deformed fiber weaving structure using diffraction pattern analysis. The accuracy of the method is determined. Experimental measurements were carried out. The recommendations on the application of the method are given.

Keywords: *weaving structure, laser, diffraction, diffraction pattern.*

Введение. Основными геометрическими параметрами металлических сеток полотняного плетения с квадратными ячейками микронных размеров являются ширина ячейки в свету a , м и диаметр проволоки d , м [1]. Дополнительными параметрами могут быть линейная плотность волокон $mesh$ (количество проволок на 1 линейный дюйм или 25,4 мм), коэффициент живого сечения, а также угол переплетения волокон α , градусов.

Для прямого измерения основных геометрических параметров таких сеток необходимо использование специализированных микроскопов, имеющие измерительные шкалы, возможность фотофиксации или возможность подключения к компьютерной технике для сохранения электронного изображения.

В случае отсутствия подобной техники или необходимости определения только линейной плотности волокон и угла их переплетения, возможно использовать дифракционный метод. Этот метод отличается простотой и низкой стоимостью используемого оборудования и был разработан специально для оперативного проведения измерений углов переплетения волокон сеток.

Описание метода. Эффект дифракции электромагнитных волн в оптически неоднородных средах широко известен [2]. На основе этого эффекта существует ряд дифракционных методов исследования структуры вещества, таких как рентгеноструктурный анализ [3] и др.

Объектом измерения описываемого метода является металлические сетки с квадратными ячейками микронных размеров полотняного плетения. Такие сетки имеют сложную геометрическую структуру (Рис.1).

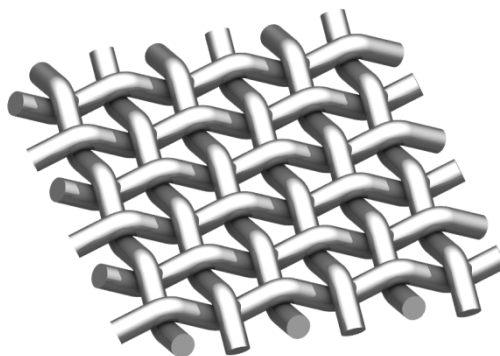


Рис. 1. Структура сетки полотняного плетения

В проекции на плоскость такая сетка представляет двумерную структуру (Рис. 2), по которой и определяются ее геометрические параметры.

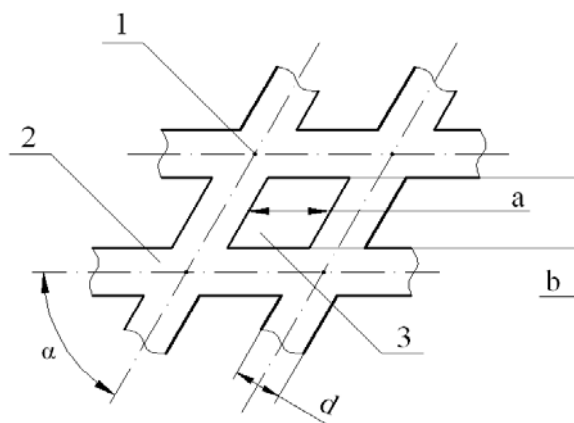


Рис. 2. Проекция сетки на плоскость:

1 – узловая точка соприкосновения волокон; 2 – проекция волокон сетки; 3 – отверстие ячейки сетки; a – ширина ячейки в свету, м; b – расстояние между волокнами, м (ширина ячейки в свету уменьшенная, вследствие деформации структуры плетения); d – диаметр проволоки, м; α – угол переплетения волокон, градусов

Описываемый метод основан на использовании эффекта дифракции когерентного монохромного излучения лазера на сетке, как на двумерной дифракционной решетке. Схема измерительной установки приведена на рис. 3.

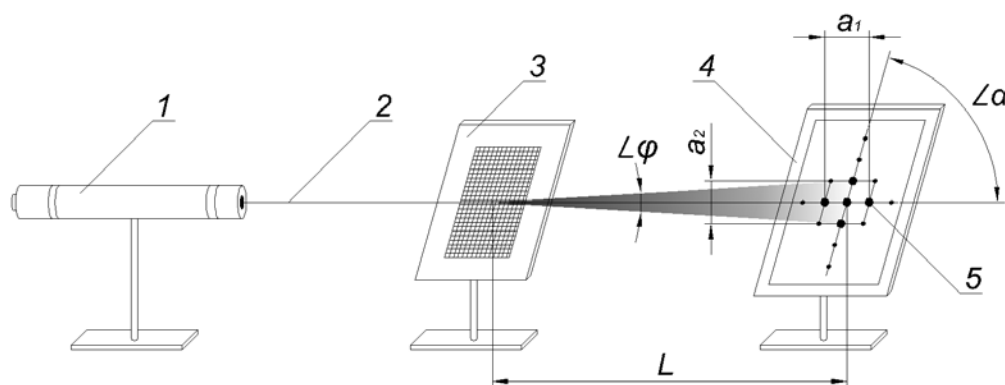


Рис. 3. Схема измерительной установки:

1 – лазерный источник излучения; 2 – луч лазера; 3 – рамка с установленным образцом измеряемой сетки; 4 – экран; 5 – максимумы дифракционной картины; L – длина базы, м; a_1 , a_2 – расстояние между максимумами дифракционной картины $m=\pm 1$, м; α – угол, образованный между линиями дифракционных максимумов, градусов; φ – угол дифракции, между максимумами дифракционной картины $m = \pm 1$, градусов

Источник лазерного излучения 1 представляет собой полупроводниковый лазер. Луч лазера 2 падает на образец измеряемой сетки 3 перпендикулярно ее плоскости, где происходит процесс дифракции. На расстоянии L от образца 3 находится экран 4, на который проецируется дифракционная картина, состоящая из рисунка дифракционных максимумов 5. Измеряемые величины a_1 , a_2 и угол α заносятся в таблицу для дальнейших преобразований.

На рис. 4 приведены типичные дифракционные картины, образующиеся при взаимодействии луча лазера с измеряемыми сетками.

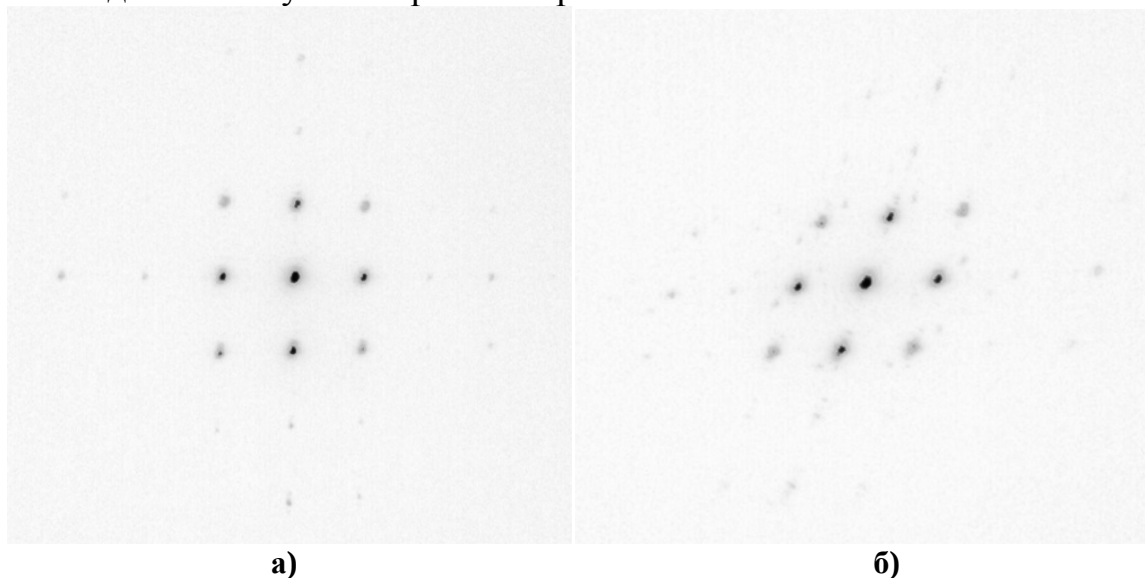


Рис. 4. Дифракционная картина:

а – сетка не деформирована; б – сетка с измененным углом переплетения волокон

Условия возникновения максимумов дифракционной решетки имеют вид

[4]

$$d_p \cdot \sin(\varphi) = \pm m \cdot \lambda, \quad (1)$$

где $d_p = a + d$ – период решетки, м, λ – длина волны света, падающего на решетку, м; m – порядок главного максимума ($m = 0, \pm 1, \pm 2 \dots$); φ – угол дифракции, соответствующий m -му главному максимуму, градусов.

При малых углах дифракции

$$\sin(\varphi) \approx \tan(\varphi). \quad (2)$$

Тогда, между максимумами дифракционной картины $m = \pm 1$

$$\sin(\varphi) \approx \tan(\varphi) = \frac{m \cdot \lambda}{d_{p1,2}} = \frac{a_{1,2}}{2 \cdot L}, \quad (3)$$

где коэффициенты 1 и 2 соответствуют направлениям плетения проволоки.

Линии, проведенные через дифракционные максимумы, получают повернутыми на 90° вокруг линии луча лазера относительно проволок сетки (например, если проволоки утка расположены горизонтально, то размер a дифракционной картины измеряется между вертикальными линиями).

Следовательно, расчетная величина периода дифракционной решетки, которая соответствует сумме размера ячейки сетки в свету и диаметра проволоки (для недеформированной сетки) определяется по формуле

$$a + d = d_{p1} = \frac{2 \cdot \lambda \cdot L}{a_1}. \quad (4)$$

Величина линейной плотности *mesh* в каждом из направлений, определяется по формуле

$$mesh_{1,2} = \frac{0,0254}{d_{p1,2}}. \quad (5)$$

Угол переплетения волокон измеряемой сетки соответствует углу пересечения линий, полученных при сопоставлении максимумов дифракционной картины.

Экспериментальные замеры. Для подтверждения работоспособности метода, проведены экспериментальные замеры металлических сеток плотняного плетения с квадратными ячейками с различными углами переплетения волокон. Измерительная установка изготовлена по схеме, приведенной на рис. 3. На рис. 5 приведено фото измерительной установки.

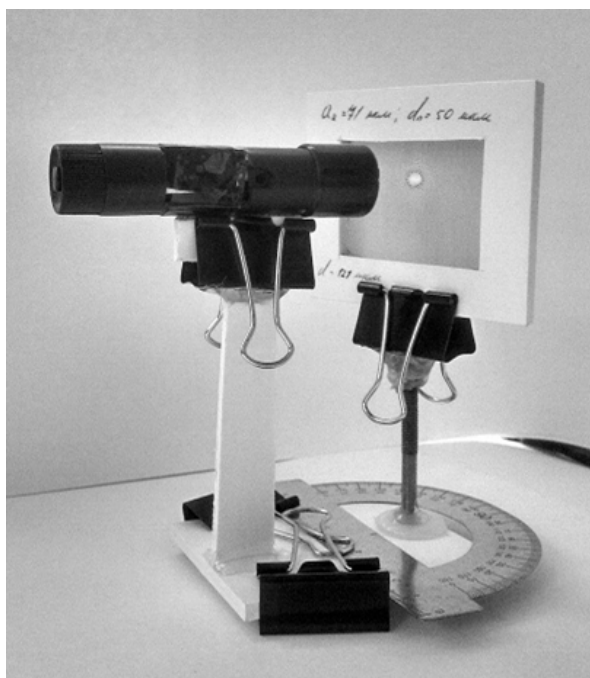


Рис. 5. Измерительная установка

Для проведения замеров использовался полупроводниковый лазер излучающий луч красного цвета (длина волны $\lambda = 650$ нм). На специальную рамку монтировался образец измеряемой сетки. На расстоянии L от образца находился экран, на который проецировалась дифракционная картина, подобная приведенной на рис. 4.

Проводились 2 серии экспериментов с $L = 7775$ мм и $L = 2850$ мм. Обобщенные результаты замеров исследуемых сеток и их расчетные геометрические параметры приведены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты экспериментальных замеров

Материал	Размер ячейки в свету, a , мкм	Диаметр проволоки, d , мкм	α°	Длина базы L , м	Максимум a_1 , мм	Период решетки $d_{p.ф.}$, мкм	Период решетки расчетный $d_{p.p.}$, мкм	Отклонение расчетного значения от фактического, %
Нержавеющая сталь 12X18H10T	80	80	70	7,775	74,0	160,0	136,6	14,6
			68	7,775	76,5		132,1	17,4
			69,5	2,850	27,0		137,2	14,2
			69	2,850	27,0		137,2	14,2
			72	2,850	26,4		140,3	12,3
			76	2,850	26,0		142,5	10,9
Нержавеющая сталь 12X18H10T	63	50	70	7,775	87,0	113,0	116,2	-2,8
			66	7,775	87,0		116,2	-2,8
			71	7,775	86,0		117,5	-4,0
			85,5	2,850	31,6		117,2	-3,8
			70	2,850	33,0		112,3	0,6
			75	2,850	30,4		121,9	-7,9

			77,5	2,850	32,0		115,8	-2,5
Латунь Л80	63	40	51,5	7,775	94,0	103,0	107,5	-4,4
			71	7,775	96,5		104,7	-1,7
			51	7,775	98,0		103,1	-0,1
			60	7,775	96,0		105,3	-2,2
			60	2,850	35,0		105,9	-2,8
Латунь Л80	50	40	54	7,775	111,0	90,0	91,1	-1,2
			69	7,775	111,0		91,1	-1,2
			68	7,775	108,0		93,6	-4,0
			64,5	7,775	109,0		92,7	-3,0
			54,5	2,850	40,0		92,6	-2,9
			69	2,850	39,4		94,0	-4,5
			68,5	2,850	39,0		95,0	-5,6
Нержавею щая сталь 12Х18Н10Т	40	30	70,5	7,775	146,0	70,0	69,2	1,1
			71	7,775	143,5		70,4	-0,6
			70	2,850	53,0		69,9	0,1
			74,5	2,850	51,0		72,6	-3,8
Нержавею щая сталь 12Х18Н10Т	32	28	87	2,850	57,4	60,0	64,5	-7,6
			70	2,850	57,6		64,3	-7,2

Как видно из табл. 1, отклонение расчетного значения периода решетки от фактической суммы размера ячейки в свету и диаметра проволоки составляет менее 6% для большинства измерений. Для образца сетки с размером ячейки в свету 80 мкм максимальное отклонение составляет 17,4%, однако технологическое отклонение размера ячейки в свету может отличаться от заданного на величину до 13% [1], что в совокупности с погрешностями измерения может достигать подобных значений. Также на величину отклонения может влиять более сильная пространственная деформация волокон сеток при малых углах α .

Погрешность измерений. Оценим погрешность косвенного определения геометрических характеристик сеток дифракционным методом.

Известно, что если некоторую величину $f = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ находят путем непосредственного изменения величин x_i , то относительная погрешность величины δf определяется по формуле [5]

$$\delta f = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\delta x_i \frac{\partial f}{\partial x_i} \right)^2}, \quad (6)$$

где δx_i – относительные погрешности результатов прямых измерений; $\frac{\partial f}{\partial x_i}$ – частные производные функции f по x_i .

Согласно (4) и (6) выражение для абсолютной погрешности определения геометрических характеристик сеток после преобразований имеет вид

$$\delta d_{pl} = \sqrt{\left(\frac{L}{a} \cdot \delta \lambda\right)^2 + \left(\frac{\lambda}{a} \cdot \delta L\right)^2 + \left(\frac{\lambda \cdot L}{a^2} \cdot \delta a\right)^2}. \quad (7)$$

Погрешности прямых измерений принимались следующими: $\delta \lambda = 20$ нм, $\delta L = 2$ см, $\delta a = 2$ мм.

Согласно (7) абсолютная погрешность для измерения сетки с геометрическими параметрами $a = d = 80$ мкм равна $d_{pl} = 2,8$ мкм, что соответствует относительной погрешности 1,8%. Абсолютная погрешность сетки с геометрическими параметрами $a = 40$ мкм, $d = 30$ мкм равна $d_{pl} = 1,17$ мкм, что соответствует относительной погрешности 1,7%.

Погрешность измерения величины угла переплетения волокон определяются непосредственно погрешностью измерительного инструмента.

Выводы. Разработанный метод позволяет определять такие параметры сеток: сумма размеров ширины ячейки в свету и диаметра проволоки, линейная плотность волокон, а также угол переплетения волокон с достаточно высокой точностью.

Преимуществом метода является использование недорогих инструментов: полупроводникового лазера, линейки для измерения расстояния, транспортира для измерения углов. В качестве экрана также можно использовать специальную бумагу с нанесенной масштабной-координатной разметкой.

Недостатком метода является необходимость математического преобразования для получения искомых величин параметров сетки, невозможность определения по отдельности величин размера ячейки в свету a и диаметра проволоки d .

В конечном итоге данный метод позволяет оперативно производить измерение и контроль геометрических характеристик сеток с малыми затратами.

Библиографические ссылки

1. Государственный стандарт. Сетки проволочные тканые с квадратными ячейками. ГОСТ 6613–86. – М.: Изд-во стандартов, 1986. – 11 с.
2. Боровиков В. А., Кинбер Б. Е. Геометрическая теория дифракции. М.: Связь, 1978, 247 с.
3. Полищук В. Р. Как разглядеть молекулу. – М., Химия, 1979. – Тираж 70000 экз. – С. 243-280
4. Калитиевский Н.И. Волновая оптика. М.: Наука, 1978.
5. Деденко Л. Г., Керженцев В. В. Математическая обработка и оформление результатов эксперимента. – М.: МГУ, 1977. – 111 с.

Надійшла до редколегії 12.06.2019

ДО УВАГИ АВТОРІВ

1. Стаття повинна містити результати нових досліджень автора з повним їхнім доведенням. Посилання на неопубліковані праці неприпустиме. Приймаються статті, запропоновані українською, російською та англійською мовами.

2. Рукопис статті повинен мати таку структуру (згідно з вимогами Постанови ВАК України № 7-05/1 від 15 січня 2003 року):

- постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями;
- аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання даної проблеми і на які спирається автор, виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття;
- формулювання цілей статті (постановка завдання);
- виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів;
- висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямку.

3. Вимоги до набору.

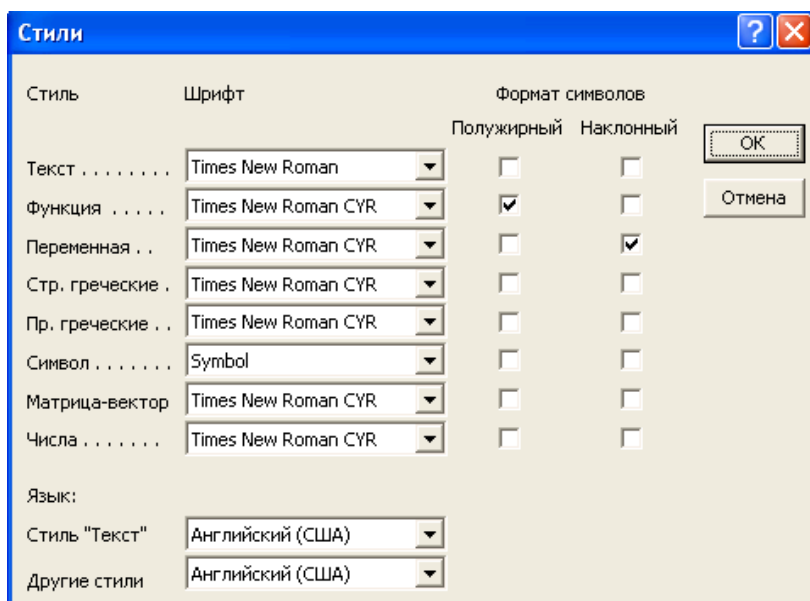
- Текст набирають у Microsoft Word.
- Формат паперу А4 (210×297).
- Параметри сторінки (поля): верхнє – 20 мм; нижнє – 20 мм; ліве – 20 мм; праве – 20 мм.
- Стил і форматування для елементів статті.

Міжрядковий інтервал для усіх елементів статті одинарний.

УДК	<i>Шрифт:</i> Times New Roman, 14 pt, прямий, усі літери великі; <i>вирівнювання:</i> за лівим краєм; <i>інтервал після:</i> один рядок
Ініціали і прізвища авторів	<i>Шрифт:</i> Times New Roman, 14 pt, прямий; <i>вирівнювання:</i> за серединою; <i>інтервал після:</i> один рядок. Спочатку набирають ініціали, потім – прізвище
Місце роботи	<i>Шрифт:</i> Times New Roman, 14 pt, курсив; <i>вирівнювання:</i> за серединою; <i>інтервал після:</i> один рядок
Назва статті	<i>Шрифт:</i> Times New Roman, 14 pt, напівжирний, прямий, усі літери великі; <i>вирівнювання:</i> за серединою; <i>інтервал після:</i> один рядок
Анотації	<i>Шрифт:</i> Times New Roman, 12 pt, напівжирний, прямий; <i>вирівнювання:</i> за шириною; <i>абзац:</i> 1,25 см
«Ключові слова»	<i>Шрифт:</i> Times New Roman, 12 pt, напівжирний, курсив; <i>вирівнювання:</i> за шириною; <i>абзац:</i> 1,25 см; <i>інтервал після:</i> один рядок

Основний текст статті	<i>Шрифт:</i> Times New Roman, 14 pt, прямий; <i>вирівнювання:</i> за шириною; <i>абзац:</i> 1,25 см; <i>інтервал після:</i> один рядок
Назва рисунка	<i>Шрифт:</i> Times New Roman, 12 pt, напівжирний, прямий; <i>вирівнювання:</i> за серединою, але не ширше за рисунок
Підрисункові підписи	<i>Шрифт:</i> Times New Roman, 12 pt, прямий; <i>вирівнювання:</i> за шириною, але не ширше за рисунок
«Таблиця»	<i>Шрифт:</i> Times New Roman, 14 pt, курсив; <i>вирівнювання:</i> за правим краєм
Назва таблиці	<i>Шрифт:</i> Times New Roman, 14 pt, напівжирний, прямий; <i>вирівнювання:</i> за серединою
Заголовок «Бібліографічні посилання»	<i>Шрифт:</i> Times New Roman, 16 pt, напівжирний, прямий; <i>вирівнювання:</i> за серединою; <i>інтервал після:</i> один рядок
Бібліографічні посилання	<i>Шрифт:</i> Times New Roman, 14 pt, прямий; нумерований список; <i>вирівнювання:</i> за шириною; <i>абзац:</i> 1,25 см; <i>інтервал після:</i> один рядок
Дата надходження до редколегії	<i>Шрифт:</i> Times New Roman, 12 pt, курсив; <i>абзац:</i> 1,25 см

- Анотацію до статті та ключові слова слід подавати українською, російською та англійською мовами.
- Під час набору статті обов'язково розрізняти «дефіс» і «тире».
- Формули слід набирати **тільки** в редакторі **Microsoft Equation 3.0** з такими установками: *інтервал до:* один рядок, *інтервал після:* один рядок; *табуляція:* 8,5 см – за серединою, 17 см – праворуч:



- Рисунки слід виконувати в будь-якому форматі, що імпортується графічними фільтрами Microsoft Word. Рисунки вставляють у текст статті як окремий незалежний об'єкт (положення – у тексті), при цьому можливе пересування тексту відносно нього. Під рисунком обов'язковим є розміщення його назви із номером; якщо необхідно – пояснювальний підпис.
- Бібліографічні посилання оформлюють відповідно до ГОСТ 7.1:2006 і вони повинні бути розташовані у тому ж порядку, що і посилання на них у тексті.
- В кінці статті наводяться прізвища, ініціали авторів та назва статті англійською, українською та російською мовами.

4. До редакційної колегії потрібно подавати:

- один примірник статті з підписом автора (співавторів) на останній сторінці;
- експертний висновок про можливість публікації статті;
- рецензію провідного фахівця відносно наукового рівня статті;
- електронний варіант статті на CD або електронною поштою;
- в окремих файлах рисунки до статті;
- на окремому аркуші довідку про автора (співавторів), у якій слід зазначити: ім'я, по батькові та прізвище автора, місце роботи, посаду, наукові інтереси, телефон та електронну адресу.

5. Статті, виконані з порушенням правил, до збірника не будуть включені.

6. Адреса редколегії: Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, фізико-технічний факультет, кафедра проектування та конструкцій ЛА, вул. Наукова, 10, м. Дніпро, 49050, Україна (тел.: (056)375-05-29, 066-179-70-83, e-mail: hetikris@gmail.com).

ЗМІСТ

Avdejev V.

Batterwot's characteristic and indices of a rocket stabilizing system3

Убизький Н. Н., Хащина А. И.

Методика прогнозування виникнення гофр на тонких стенках профільних заготовок при виготовленні шпангоутів.....11

Polishko S., Davidjuk A., Sanin A., Kalinina N., Dzhur E.

Aluminum Alloy Modifiers.....17

Елисеєв В.И., Совит Ю.П., Блюсс Б.А.

Ионотранспорт при конвективно – диффузионном разделении потоков.....21

Давыдов С.А., Давыдова А.В., Шевцов В.Е.

Научные направления кафедры проектирования и конструкций.....39

Шевцов В. Ю.

Освітні технології в навчальному процесі третього тисячоліття.....43

Линник А.К., Балдин О.О.

Про мотивацію студентів до навчання у вищих технічних навчальних закладах: надбання викладача та бачення студента.....52

Ліповський В.І.

Методологічні підходи до вивчення будівельної механіки літальних апаратів (ЛА).....58

Шевцов В. Ю.

Технології проектування і конструювання техніки і технічних систем.....63

Колесніченко О. В., Сідаш О.Ю.

Деякі особливості роботи з пакетом 3dMAX.....71

Линник А.К.

Концепція авторської методики викладання курсу «Конструювання ракет-носіїв».....75

Калініна Н.Є., Давидюк А.В., Калінін В.Т., Носова Т.В., Мамчур С.І., Савченко І.С.

Дослідження структури та властивостей алюмінієвих сплавів, модифікованих дисперсними композиціями.....80

Линник А.К., Журавель П.І.

Досвід організації та проведення лабораторних робіт на базі демонстраційної зали натурних зразків ракетно-космічної техніки.....85

Безручко К. В., Синченко С. В., Рева В. С.

Анализ и выбор электрохимических накопителей энергии для энергоустановок долгоживущих космических аппаратов.....88

Карпович Е. В., Карпович И. И., Кулик А. В.

Сравнительные теоретические исследования температурных полей при лазерной наплавке одиночного валика на подложку и нагрева слоя порошка в транспортирующем газе.....99

Позднышев Н.О.

Дифракционный метод измерения геометрических параметров сеток.....108