

УДК 677.054

РАСЧЕТ СОБСТВЕННЫХ ЧАСТОТ И ФОРМ ИЗГИБНЫХ И КРУТИЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ БРУСА БАТАНА ШИРОКИХ МЕТАЛЛОТКАЦКИХ СТАНКОВ

Тувин А.А., Максимов А.А.

ФГБОУ ВО «Ивановский государственный политехнический университет»,
Иваново, e-mail: tuvin@ivgpi.com

Процесс ткачества металлической сетки, учитывая специфические свойства металлонитей, оказывается требовательным к деформационным свойствам звеньев исполнительных механизмов станка. Влияние деформационных и колебательных процессов можно минимизировать на стадии проектирования или при проведении модернизации металлотацких машин. Решение этой задачи можно получить при наличии динамической и математической моделей батанного механизма, учитывающих взаимосвязи между технологическими объектами (нити основы и утка) и исполнительным (батанным) механизмом. В частности, необходим учет взаимодействия батанного механизма с упругой системой заправки станка, через которую раскрываются согласующие связи работы основных исполнительных механизмов станка. Разработана математическая модель анализа собственных частот и форм изгибных и крутильных колебаний бруса батана широких металлотацких станков с n лопастями, соответствующая его уточненной динамической модели.

Ключевые слова: ткацкий станок, батан, брус, опушка ткани, модель, частота колебаний

CALCULATION OF NATURAL FREQUENCIES AND FORMS OF FLEXURAL AND SHIFTING JERKS OF A BAR OF THE NERD OF WIDE METALWEAVER'S MACHINES

Tuvin A.A., Maksimov A.A.

Ivanovo State Polytechnical University,
Ivanovo, e-mail: tuvin@ivgpi.com

The process of weaving of the metal gauze, considering spetsifikichesky properties of metalthreads, there is exacting to deformatsionny properties of links an ispolniktelnykh of mechanisms of the machine. Influence of deformation and oscillatory processes can be minimized at a design stage or when carrying out modernization of the metalweaver's equipment. The solution of this task can be received in the presence of dinamicheskyy and mathematical model the batanny mechanism, considering interrelations between tekhnologicheskyy objects (threads of a basis and a duck) and the executive (batanny) mechanism. In particular the accounting of interaction of the batanny mechanism with elastic system of a zakpravka of the machine through which soglasuyukshchy bonds of work the osnovnykh of executive mechanisms of the machine reveal is necessary. The mathematical model of the analysis of natural frequencies and forms of flexural and shifting jerks of a bar of the nerd of wide metalweaver's machines with n blades, sootvetstvuyushchy its the specified dynamic model is developed.

Keywords: weaving loom, nerd, bar, fabric edge, model, vibratory frequency

Расчет собственных частот и форм изгибных колебаний бруса батана широких металлотацких станков

При проектировании широких станков возникает задача определения оптимального числа лопастей и зоны их расположения по длине бруса батана. Данная задача иначе, как методами динамики решена быть не может [2, 5]. Остановимся на модели с n лопастями (рис. 1). Как частные случаи эта модель позволяет проанализировать:

- двухлопастной вариант с расположением лопастей в концевых сечениях бруса ($m_2 = 0, c_2 = 0$);
- двухлопастной вариант со смещенным относительно концевых сечений бруса расположением лопастей ($m_1 = 0, c_1 = 0$);
- трехлопастной вариант с двумя ведущими лопастями ($l_2 = 0, m_2 = m_1/2, c_2 = 0$);
- трехлопастной вариант с тремя ведущими лопастями ($l_2 = 0, m_2 = m_1/2, c_2 = c_1/2$);
- четырехлопастной вариант с двумя ведущими лопастями ($c_1 = 0$).

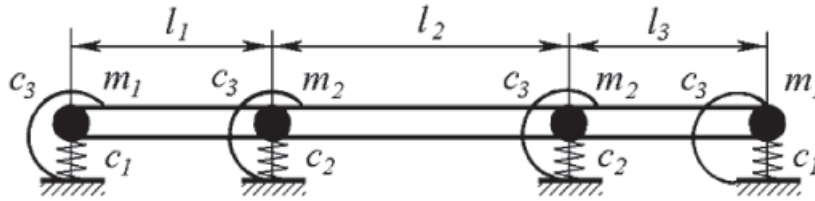


Рис. 1. Динамическая модель изгибных колебаний бруса батана для широких металлорежущих станков

Участки бруса в общем случае могут иметь разную жесткость EJ и распределенную массу μ . По технической теории каждый из участков будет иметь свое уравнение собственных колебаний [1, 6]

$$\frac{\partial^2}{\partial x^2} \left(EI_z \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \right) + \mu \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = 0. \quad (1)$$

Решение этого уравнения имеет вид

$$y = \sum_i X_i(x) T_i(t), \quad (2)$$

где $X_i(x)$ – функция формы; $T_i(t)$ – функция времени.

Имея в виду, что момент инерции бруса относительно нейтральной оси $I_z = \text{const}$, получим уравнение форм

$$X_i''''(x) - k_i^4 X_i(x) = 0; \quad k_i^4 = \frac{\mu \rho_i^2}{EI_z}, \quad (3)$$

где ρ_i – собственные частоты изгибных колебаний. Колебания при этом носят гармонический характер, поскольку функция времени определяется уравнением

$$\ddot{T}_i(t) + \rho_i^2 T_i(t) = 0. \quad (4)$$

Решение уравнения форм в общем виде представим как

$$X_{ji}(x) = A_{ji} S(k_{ji}x) + B_{ji} T(k_{ji}x) + C_{ji} U(k_{ji}x) + D_{ji} V(k_{ji}x), \quad (5)$$

где j – номер рассматриваемого участка ($j = 1, 2, 3, \dots, n-1$); i – номер собственной формы (частоты) колебаний; A, B, C, D – постоянные коэффициенты;

$$k_{ji}^4 = \frac{\mu_j \rho_i^2}{EI_{zj}}.$$

Граничные условия и условия сопряжения для данной модели будут иметь вид

$$\left. \begin{aligned} EI_{z1} y_1''(x_1=0) - c_3 y_1'(x_1=0) &= 0, \\ EI_{z1} y_1'''(x_1=0) + m_1 y_1''(x_1=0) + c_1 y_1(x_1=0) &= 0, \\ EI_{z1} y_1''(x_1=l_1) - EI_{z2} y_2''(x_2=0) + c_3 y_2'(x_2=0) &= 0, \\ EI_{z1} y_1'''(x_1=l_1) - m_2 \dot{y}_1(x_1=l_1) - EI_{z2} y_2'''(x_2=0) - c_1 y_2(x_2=0) &= 0, \\ y_1(x_1=l_1) - y_2(x_2=0) &= 0, \\ y_1'(x_1=l_1) - y_2'(x_2=0) &= 0, \\ y_2(x_2=l_2) - y_3(x_3=0) &= 0, \\ y_2'(x_2=l_2) - y_3'(x_3=0) &= 0, \\ EI_{z2} y_2''(x_2=l_2) - EI_{z3} y_3''(x_3=0) + c_3 y_3'(x_3=0) &= 0, \\ EI_{z2} y_2'''(x_2=l_2) - m_2 \dot{y}_2(x_2=l_2) - EI_{z3} y_3'''(x_3=0) - c_2 y_3(x_3=0) &= 0, \\ EI_{z3} y_3''(x_3=l_3) + c_3 y_3'(x_3=l_3) &= 0, \\ EI_{z3} y_3'''(x_3=l_3) - m_1 y_3''(x_3=l_3) - c_1 y_3(x_3=l_3) &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

Подставляя в эту систему решение (2) с учетом (4) и (5) будем иметь, опуская индексы i ,

$$\begin{aligned}
 &EI_{z_1}k_1^2C_1 - c_2k_1B_1 = 0, \\
 &EI_{z_1}k_1^3D_1 + (c_1 - m_1p^2)A_1 = 0, \\
 &EI_{z_1}k_1^2(A_1U(k_1l_1) + B_1V(k_1l_1) + C_1S(k_1l_1) + D_1T(k_1l_1)) - \\
 &\quad - EI_{z_2}k_2^2C_2 + c_2k_2B_2 = 0, \\
 &EI_{z_1}k_1^3(A_1T(k_1l_1) + B_1U(k_1l_1) + C_1V(k_1l_1) + D_1S(k_1l_1)) - \\
 &\quad - (c_1 - m_2p^2)A_2 - EI_{z_2}k_2^3D_2 + c_2k_2B_2 = 0, \\
 &A_1S(k_1l_1) + B_1T(k_1l_1) + C_1U(k_1l_1) + D_1V(k_1l_1) - A_2 = 0, \\
 &k_1(A_1V(k_1l_1) + B_1S(k_1l_1) + C_1T(k_1l_1) + D_1U(k_1l_1)) - k_2B_2 = 0, \\
 &A_2S(k_2l_2) + B_2T(k_2l_2) + C_2U(k_2l_2) + D_2V(k_2l_2) - A_3 = 0, \\
 &k_2(A_2V(k_2l_2) + B_2S(k_2l_2) + C_2T(k_2l_2) + D_2U(k_2l_2)) - k_3B_3 = 0, \\
 &EI_{z_2}k_2^2(A_2U(k_2l_2) + B_2V(k_2l_2) + C_2S(k_2l_2) + D_2T(k_2l_2)) - \\
 &\quad - EI_{z_3}k_3^2C_3 + c_2k_3^2B_3 = 0, \\
 &EI_{z_2}k_2^3(A_2T(k_2l_2) + B_2U(k_2l_2) + C_2V(k_2l_2) + D_2S(k_2l_2)) - \\
 &\quad - (c_1 - m_2p^2)A_3 - EI_{z_3}k_3^3D_3 = 0, \\
 &EI_{z_3}k_3^2(A_3U(k_3l_3) + B_3V(k_3l_3) + C_3S(k_3l_3) + D_3T(k_3l_3)) + \\
 &+ c_2k_3(A_3S(k_3l_3) + B_3T(k_3l_3) + C_3U(k_3l_3) + D_3V(k_3l_3)) = 0, \\
 &EI_{z_3}k_3^3(A_3T(k_3l_3) + B_3U(k_3l_3) + C_3V(k_3l_3) + D_3S(k_3l_3)) - \\
 & - (c_1 - m_1p^2)(A_3S(k_3l_3) + B_3T(k_3l_3) + C_3U(k_3l_3) + D_3V(k_3l_3)) = 0.
 \end{aligned} \tag{7}$$

Частотное уравнение принимает вид

0	$a(1,2)$	$a(1,3)$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$a(2,1)$	0	0	$a(2,4)$	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$a(3,1)$	$a(3,2)$	$a(3,3)$	$a(3,4)$	0	$a(3,6)$	$a(3,7)$	0	0	0	0	0	0
$a(4,1)$	$a(4,2)$	$a(4,3)$	$a(4,4)$	$a(4,5)$	$a(4,6)$	0	$a(4,8)$	0	0	0	0	0
$a(5,1)$	$a(5,2)$	$a(5,3)$	$a(5,4)$	$a(5,5)$	0	0	0	0	0	0	0	0
$a(6,1)$	$a(6,2)$	$a(6,3)$	$a(6,4)$	0	$a(6,6)$	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	$a(7,5)$	$a(7,6)$	$a(7,7)$	$a(7,8)$	$a(7,9)$	0	0	0	0
0	0	0	0	$a(8,5)$	$a(8,6)$	$a(8,7)$	$a(8,8)$	0	$a(8,10)$	0	0	0
0	0	0	0	$a(9,5)$	$a(9,6)$	$a(9,7)$	$a(9,8)$	0	$a(9,10)$	$a(9,11)$	0	0
0	0	0	0	$a(10,5)$	$a(10,6)$	$a(10,7)$	$a(10,8)$	$a(10,9)$	0	0	$a(10,12)$	0
0	0	0	0	0	0	0	0	$a(11,9)$	$a(11,10)$	$a(11,11)$	$a(11,12)$	0
0	0	0	0	0	0	0	0	$a(12,9)$	$a(12,10)$	$a(12,11)$	$a(12,12)$	0

= 0 (8)

где $a(k, l)$ – коэффициенты при неизвестных A_p, B_p, C_p, D_p в системе уравнений (7).

Для определения форм колебаний положим в системе (7) $A_1 = 1$, тогда, не принимая во внимание, например, последнее уравнение этой системы, будем иметь

$$\begin{aligned}
 & a(1,2)B_1 + a(1,3)C_1 = 0, \\
 & a(2,4)D_1 = -a(2,1), \\
 & a(3,2)B_1 + a(3,3)C_1 + a(3,4)D_1 + a(3,6)B_2 + a(3,7)C_2 = -a(3,1), \\
 & a(4,2)B_1 + a(4,3)C_1 + a(4,4)D_1 + a(4,5)A_2 + \\
 & \quad + a(4,6)B_2 + a(4,8)D_2 = -a(4,1), \\
 & a(5,2)B_1 + a(5,3)C_1 + a(5,4)D_1 + a(5,5)A_2 = -a(5,1), \\
 & a(6,2)B_1 + a(6,3)C_1 + a(6,4)D_1 + a(6,6)B_2 = -a(6,1), \\
 & a(7,5)A_2 + a(7,6)B_2 + a(7,7)C_2 + a(7,8)D_2 + a(7,9)A_3 = 0, \\
 & a(8,5)A_2 + a(8,6)B_2 + a(8,7)C_2 + a(8,8)D_2 + a(8,10)B_3 = 0, \\
 & a(9,5)A_2 + a(9,6)B_2 + a(9,7)C_2 + a(9,8)D_2 + \\
 & \quad + a(9,10)B_3 + a(9,11)C_3 = 0, \\
 & a(10,5)A_2 + a(10,6)B_2 + a(10,7)C_2 + a(10,8)D_2 + \\
 & \quad + a(10,9)A_3 + a(10,12)D_3 = 0, \\
 & a(11,9)A_3 + a(11,10)B_3 + a(11,11)C_3 + a(11,12)D_3 = 0.
 \end{aligned} \tag{9}$$

Система (9) позволяет найти коэффициенты A_{ji} , B_{ji} , C_{ji} , D_{ji} ($j = 1, 2, 3, \dots, n$; $A_{1i} = 1$), определяющие формы собственных колебаний бруса.

Как отмечалось ранее, упругое сопротивление $k_y dx$ со стороны опущки вырабатываемой сетки, действующее во второй фазе движения батана, не изменяет форм собственных колебаний бруса, меняются только собственные частоты, которые будут равны

$$p_{li} = \sqrt{p_{li}^2 + k / \mu},$$

где p_{li} – собственные частоты колебаний системы на первой фазе движения, определяемые уравнением (8).

Не оказывает влияние на формы упругих колебаний системы и неупругое сопротивление. Собственные частоты при этом будут равны

$$q_{li} = \sqrt{p_{li}^2 - \alpha_z^2 p_{li}^4 / 4}$$

для первой фазы движения батана и

$$q_{li} = \sqrt{p_{li}^2 + \frac{k_n}{\mu} - \left(\frac{\alpha_2 p_{li} + \frac{\alpha_3}{\mu}}{2} \right)^2}$$

для второй фазы движения батана.

Во второй фазе движения батана собственные формы колебаний бруса, если следовать технической теории [6], не меняются.

Расчет собственных частот и форм крутильных колебаний бруса батана широких металлотацких станков

При анализе крутильных колебаний динамическая модель бруса батанного механизма с n лопастями может быть представлена в виде сплошного n -опорного вала (рис. 2).

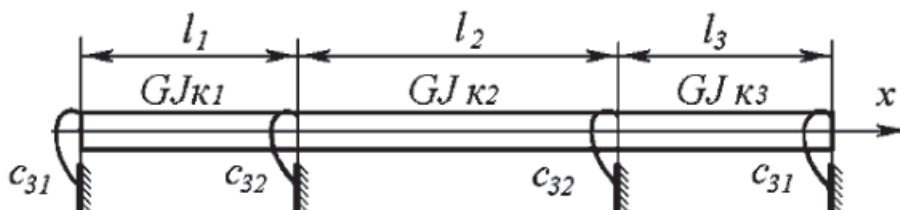


Рис. 2. Динамическая модель крутильных колебаний бруса батана для широких ткацких станков

Опоры упругие. Коэффициенты жесткости этих опор – приведенные к крутильным коэффициенты изгибной жесткости лопастей и подбатанного вала с учетом радиальной жесткости его подшипниковых опор. Для каждого j -го участка бруса, с учетом уравнения Эйлера – Пуассона [3, 4], уравнение чисто крутильных собственных колебаний бруса равно

$$-GI_k \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} + \mu \frac{I_0}{F} \frac{\partial^2 \theta}{\partial t^2} + k_n a^2 \theta - \alpha_4 \frac{\partial^3 \theta}{\partial x^2 \partial t} + \alpha_3 \frac{\partial \theta}{\partial t} = 0. \quad (10)$$

Используя метод Фурье, решение уравнения (10) ищется в форме

$$\theta(x, t) = \sum_i \varphi_i(x) \cdot T_i(t). \quad (11)$$

Общее решение (11), равное сумме частных, приобретает вид

$$\theta_j(x_j, t) = \sum_i \theta_{ji}(x_j, t) = \sum_i \varphi_{ji}(x_j) \cdot T_i(t), \quad j = 1, 2, 3, \quad (12)$$

где функция формы

$$\varphi_{ji}(x_j) = A_{ji} \sin q_i x_j + B_{ji} \cos q_i x_j, \quad 0 \leq x_j \leq l_j. \quad (13)$$

Частоты собственных колебаний бруса

$$p_i = \left(\frac{GI_k q_i^2 + k_n a^2}{\mu I_0 / F} \right)^{1/2}. \quad (14)$$

Граничные условия и условия сопряжения для рассматриваемой модели имеют вид

$$\left. \begin{aligned} GI_{k1} \theta'_1(x_1 = 0) - c_{31} \theta_1(x_1 = 0) &= 0, \\ GI_{k1} \theta'_1(x_1 = l_1) + c_{32} \theta_1(x_1 = l_1) - GI_{k2} \theta'_2(x_2 = 0) &= 0, \\ GI_{k2} \theta'_2(x_2 = l_2) + c_{32} \theta_2(x_2 = l_2) - GI_{k3} \theta'_3(x_3 = 0) &= 0, \\ GI_{k3} \theta'_3(x_3 = l_3) + c_{31} \theta_3(x_3 = l_3) &= 0, \\ \theta_1(x_1 = l_1) &= \theta_2(x_2 = 0), \\ \theta_2(x_2 = l_2) &= \theta_3(x_3 = 0). \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

Подставляя в условия (15) частное решение, получим

$$\left. \begin{aligned} GI_{k1} q A_1 - c_{31} B_1 &= 0, \\ GI_{k1} q (A_1 \cos q l_1 - B_1 \sin q l_1) + c_{32} (A_1 \sin q l_1 + B_1 \cos q l_1) - GI_{k2} q A_2 &= 0, \\ GI_{k2} q (A_2 \cos q l_2 - B_2 \sin q l_2) + c_{32} (A_2 \sin q l_2 + B_2 \cos q l_2) - GI_{k3} q A_3 &= 0, \\ GI_{k3} q (A_3 \cos q l_3 - B_3 \sin q l_3) + c_{31} (A_3 \sin q l_3 + B_3 \cos q l_3) &= 0, \\ A_1 \sin q l_1 + B_1 \cos q l_1 - B_2 &= 0, \\ A_2 \sin q l_2 + B_2 \cos q l_2 - B_3 &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (16)$$

Обозначим коэффициенты при неизвестных A_j, B_j :

$$a_{11} = GI_{k1} q; \quad a_{12} = -c_{31};$$

$$a_{21} = GI_{k1} q \cos q l_1 + c_{32} \sin q l_1; \quad a_{22} = -GI_{k1} q \sin q l_1 + c_{32} \cos q l_1; \quad a_{23} = -GI_{k2} q;$$

$$a_{33} = GI_{k2} q \cos q l_2 + c_{32} \sin q l_2; \quad a_{34} = -GI_{k2} q \sin q l_2 + c_{32} \cos q l_2; \quad a_{35} = -GI_{k3} q;$$

$$a_{45} = GI_{k3} q \cos q l_3 + c_{31} \sin q l_3; \quad a_{46} = -GI_{k3} q \sin q l_3 + c_{31} \cos q l_3;$$

$$a_{51} = \sin q l_1; \quad a_{52} = \cos q l_1; \quad a_{54} = -1;$$

$$a_{63} = \sin q l_2; \quad a_{64} = \cos q l_2; \quad a_{66} = -1.$$

Неизвестные параметры q_i функции формы (13) определяются из уравнения

$$\begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & a_{33} & a_{34} & a_{35} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & a_{45} & a_{46} \\ a_{51} & a_{52} & 0 & a_{54} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & a_{63} & a_{64} & 0 & a_{66} \end{vmatrix} = 0. \quad (17)$$

Для определения форм крутильных колебаний бруса положим в уравнениях (16) $A_{1i} = 1$. Тогда

$$B_{1i} = \frac{\Delta_2}{\Delta_1}; \quad A_{2i} = \frac{\Delta_3}{\Delta_1}; \quad B_{2i} = \frac{\Delta_4}{\Delta_1};$$

$$A_{3i} = \frac{\Delta_5}{\Delta_1}; \quad B_{3i} = \frac{\Delta_6}{\Delta_1},$$

где

$$\Delta_1 = \begin{vmatrix} a_{12} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ a_{22} & a_{23} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & a_{33} & a_{34} & a_{35} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & a_{45} & a_{46} \\ a_{52} & 0 & a_{54} & 0 & 0 \end{vmatrix};$$

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} -a_{11} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -a_{21} & a_{23} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & a_{33} & a_{34} & a_{35} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & a_{45} & a_{46} \\ -a_{51} & 0 & a_{54} & 0 & 0 \end{vmatrix};$$

$$\Delta_3 = \begin{vmatrix} a_{12} & -a_{11} & 0 & 0 & 0 \\ a_{22} & -a_{21} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & a_{34} & a_{35} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & a_{45} & a_{46} \\ a_{52} & -a_{51} & a_{54} & 0 & 0 \end{vmatrix};$$

$$\Delta_4 = \begin{vmatrix} a_{12} & 0 & -a_{11} & 0 & 0 \\ a_{22} & a_{23} & -a_{21} & 0 & 0 \\ 0 & a_{33} & 0 & a_{35} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & a_{45} & a_{46} \\ a_{52} & 0 & -a_{51} & 0 & 0 \end{vmatrix};$$

$$\Delta_5 = \begin{vmatrix} a_{12} & 0 & 0 & -a_{11} & 0 \\ a_{22} & a_{23} & 0 & -a_{21} & 0 \\ 0 & a_{33} & a_{34} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & a_{46} \\ a_{52} & 0 & a_{54} & -a_{51} & 0 \end{vmatrix};$$

$$\Delta_6 = \begin{vmatrix} a_{12} & 0 & 0 & 0 & -a_{11} \\ a_{22} & a_{23} & 0 & 0 & -a_{21} \\ 0 & a_{33} & a_{34} & a_{35} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & a_{45} & 0 \\ a_{52} & 0 & a_{54} & 0 & -a_{51} \end{vmatrix}.$$

Выводы

Разработаны динамическая и математическая модели собственных частот и форм изгибных и крутильных колебаний бруса батана широких металлотакающих станков с n лопастями, соответствующие его уточненной динамической модели на фазе взаимодействия берда с опушкой вырабатываемой сетки.

Список литературы

1. Беляев Н.М. Сопротивление материалов. – 15-е изд. перераб. – М.: Главная редакция физико-математической литературы изд-ва «Наука», 1976. – С. 608.
2. Мельяченко Ж.В. Взаимосвязь технологических параметров ткачества и параметров строения вырабатываемых тканей / Ж.В. Мельяченко, С.Д. Николаев // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1991. – № 1. – С. 47–50.
3. Смирнов, В.И. Курс высшей математики: учебное пособие для вузов: В 6-ти т. Т.1. – М.: Наука, 1965. – 480 с.
4. Суров В.А. Динамика упругих систем батанных механизмов металлотакающих станков / В.А. Суров, А.А. Туvin. – Иваново: ИГТА, 2004. – 188 с.
5. Суров В.А. Исследование батанного механизма металлотакающих станков типа СТР с выстоем в момент прибоья / В.А. Суров, А.А. Туvin, А.В. Ковалевский, В.Г. Чумиков // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1996. – № 3. – С. 90–93.
6. Тимошенко С.П. Колебания в инженерном деле. – М.: Наука, 1967. – 444 с.

References

1. Beljaev N.M. Soprotivlenie materialov. 15-e izd. pererab. M.: Glavnaja redakcija fiziko-matematicheskoy literatury izd-va «Nauka», 1976. pp. 608.
2. Meljachenko Zh.V. Vzaimosvjaz tehnologicheskikh parametrov tkachestva i parametrov stroenija vyrabatyvaemykh tkaney / Zh.V. Meljachenko, S.D. Nikolaev // Izv. vuzov. Tehnologija tekstilnoj promyshlennosti. 1991. no. 1. pp. 47–50.
3. Smirnov, V.I. Kurs vysshej matematiki: Uchebnoe posobie dlja vtuzov: V 6-ti t. T.1. M.: Nauka, 1965. 480 p.
4. Surov V.A. Dinamika uprugih sistem batannykh mehanizmov metallotkackikh stankov / V.A. Surov, A.A. Tuvin. Ivanovo: IGTA, 2004. 188 p.
5. Surov V.A. Issledovanie batannogo mehanizma metallotkackikh stankov tipa STR s vystoem v moment priboja / V.A. Surov, A.A. Tuvin, A.V. Kovalevskij, V.G. Chumikov // Izv. vuzov. Tehnologija tekstilnoj promyshlennosti. 1996. no. 3. pp. 90–93.
6. Timoshenko S.P. Kolebanija v inzhenernom dele. M.: Nauka, 1967. 444 p.