

В.Г. Здоренко, к.т.н, доц.
Київський національний університет технологій та дизайну

ВПЛИВ КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ ТРИКОТАЖНИХ ТА ТЕКСТИЛЬНИХ МАШИН НА СТАБІЛІЗАЦІЮ НАТЯГУ ПРУЖНОЇ СИСТЕМИ ЗАПРАВКИ

У статті наведено результати досліджень по підвищенню стабілізації натягу пружної системи заправки трикотажних та текстильних машин. Дослідження проведено на основі динамічних моделей, на базі аналізу яких складено системи диференціальних рівнянь. Отримані аналітичні залежності, що дозволяють визначити зміни натягу пружної системи заправки в залежності від конструктивних параметрів

Пружна система заправки [1, 2] трикотажних та текстильних машин є основним елементом, на який впливають механізми та робочі органи технологічного обладнання. Він представляє собою сукупність ниток (як окремих, так і систем ниток), які у робочій зоні (зоні в'язання або зоні формування тканини) [3, 4] перероблюються у тканину або трикотаж з визначеним натягом.

Нормальна течія технологічного процесу буде забезпечуватись у тому випадку, коли ниткам та полотну буде забезпечений необхідний натяг. Крім того, величина натягу не повинна (або може мінімально) змінюватись як в межах одного циклу формування елемента трикотажу або тканини, так і за весь час роботи технологічного обладнання. Таким чином, за основний критерій оптимізації роботи механізмів та пристроїв, що впливають на пружну систему заправки, можна вважати мінімально необхідний натяг, який не змінюється з часом. Це дасть можливість максимально зменшити кількість обривів ниток, час простою технологічного обладнання, внаслідок чого зростає продуктивність його роботи [5, 6].

На рис. 1, а представлено динамічну модель ткацького верстата, а на рис. 1, б – трикотажної основов'язальної машини. Як видно з рисунків, пружна система заправки є складовим елементом даних моделей. Наведений нижче коефіцієнт жорсткості пружної системи заправки C_3 в 1 та 2 можливо визначити за формулами:

для рис. 1, а:

$$C_3 = \frac{C_2 C_3}{C_2 + C_3}, \quad (1)$$

для рис. 1, б:

$$C_3 = \frac{C_2 (C_{13} + C_{32})}{C_2 + C_{13} + C_{32}}, \quad (2)$$

де C_2 – коефіцієнт жорсткості систем основних ниток; C_3 , C_{31} – коефіцієнти жорсткості полотна або тканини у заправці; C_{32} – коефіцієнт жорсткості голок у голичниці основов'язальної машини.

Як видно, приведений коефіцієнт жорсткості у другому випадку відрізняється від першого. Це пояснюється тим, що трикотажне полотно з'єднується із голками голичниці основов'язальної машини за рахунок старих петель. Голки консольно закріплені у голичницях і при розтягу полотна вони вигинаються в напрямку механізму відтяжки. Жорсткість на згин усіх голок за шириною заправки і визначає складову C_{32} (см. також рис. 1, а). При цьому проведені дослідження застосовуються для випадку систем ниток та проводились для усталеного режиму обертання головного вала. Проведені дослідження нерівномірності кутової швидкості головного вала для верстата АТПР-120 та зміни потужності на головному валу основов'язальної машини ОВ-7 [6, 7] показали, що нерівномірність кутової швидкості змінювалась від 14 % до 20 % (а у деяких випадках – до 35 %). При цьому крива нерівномірності має синусоїдальний характер. Відомо, що потужність є функцією кутової швидкості та приведенного моменту, що діє на відповідний елемент. Таким чином, сумарна залежність зміни потужності на головному валу основов'язальної машини також буде

наближатися до синусоїди. При усталеному режимі роботи функція зміни кутової швидкості головного вала має вигляд:

$$\omega_1 = \omega_{1cp} + \omega_{1\Delta} \sin k_{10}t,$$

$$\omega_{1cp} = \frac{\omega_{1max} + \omega_{1min}}{2}, \quad \omega_{1\Delta} = \frac{\omega_{1max} - \omega_{1min}}{2}, \tag{3}$$

де k_{10} – частота зміни кутової швидкості головного вала за один оборот; t – час.

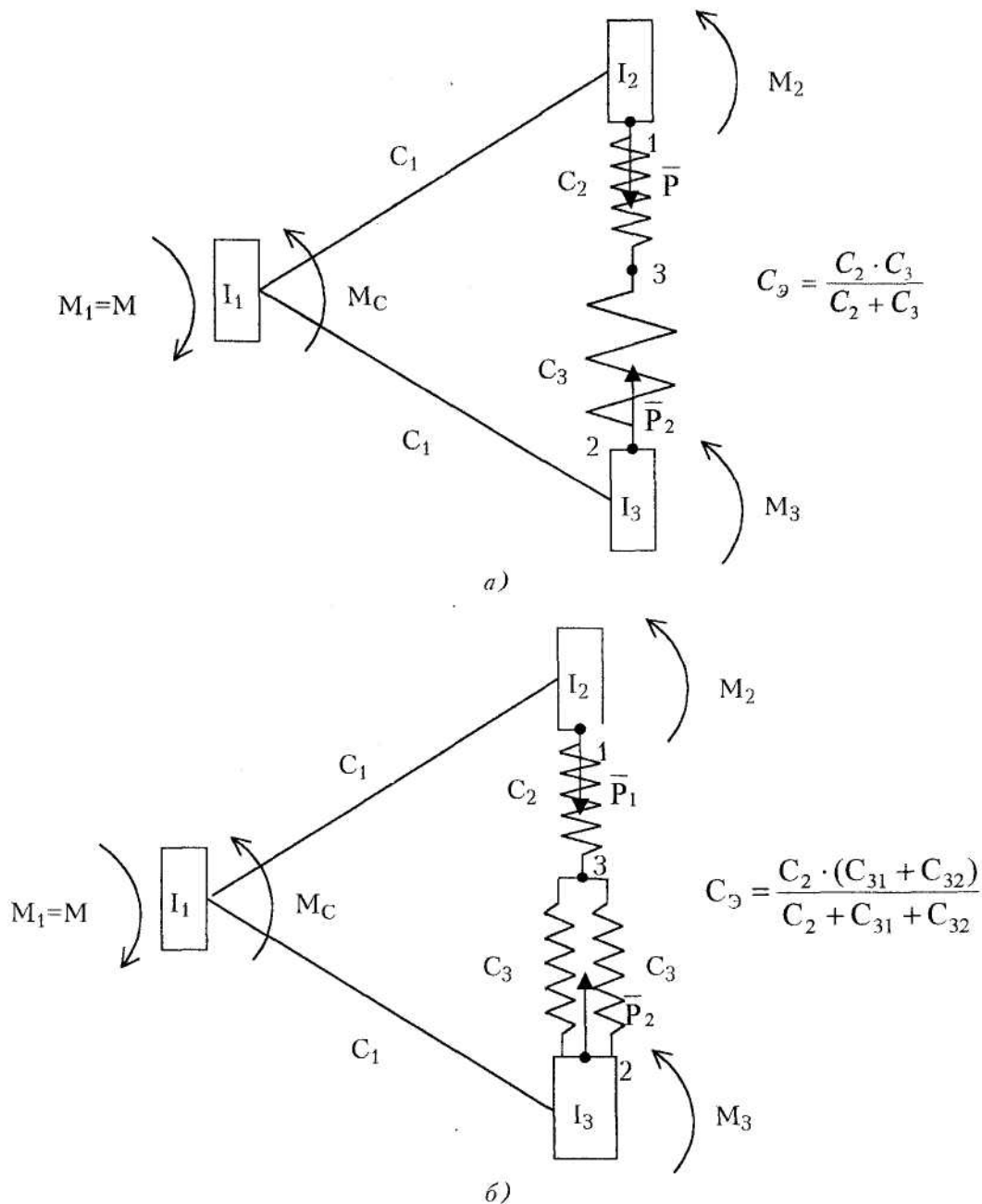


Рис. 1. Динамічні моделі текстильних та трикотажних машин

Нерівномірність обертання головного вала:

$$\delta_1 = \frac{\omega_{1max} - \omega_{1min}}{\omega_{1cp}}. \tag{4}$$

Для механізму подачі основи та механізму відтяжки полотна, з урахуванням (3) та (4), отримуємо:

$$\omega_2 = \frac{\omega_1}{i_{12}}, \quad \omega_3 = \frac{\omega_1}{i_{13}}, \quad (5)$$

де i_{12} , i_{13} – відповідні передаточні числа.

Тоді натяги P_1 та P_2 (рис. 1, а, б) можуть бути визначені як функції кута повороту відповідних тіл, що входять у динамічну модель:

$$\begin{aligned} S_2 &= \varphi_3 R_0, \quad S_1 = \varphi_2 R, \\ P_1 &= P_0(R) + C_3 R_0 \varphi_3 - C_3 R \varphi_2, \\ P_2 &= P_0(R) + \Delta P_1 + \Delta P_2 + C_3 R_0 \varphi_3 - C_3 R \varphi_2, \end{aligned} \quad (6)$$

де φ_2 – кут повороту тіла 2; φ_3 – кут повороту тіла 3; R_0 – радіус відтяжного вала; R – поточний радіус намотки основи на навої.

З урахуванням усього сказаного вище вихідна система диференціальних рівнянь руху основов'язальної і текстильної машин має вигляд:

$$\begin{cases} J_1 \ddot{\varphi}_1 = M_1 - M_{C1} - C_{12}(\varphi_1 - \varphi_2) - C_{13}(\varphi_1 - \varphi_3), \\ M_1^* = M_1 - M_{C1}, \\ J_2 \ddot{\varphi}_2 = C_{12}\varphi_1 - C_{12}\varphi_2 - M_2 + P_0(R)R + C_3 R_0 R \varphi_3 - \\ - C_3 R^2 \varphi_2 = C_{12}\varphi_1 - (C_{12} + C_3 R^2)\varphi_2 + C_3 R_0 R \varphi_3 + U_3, \\ U_3 = -M_2 + P_0(R)R, \\ J_3 \ddot{\varphi}_3 = C_{13}\varphi_1 - C_{13}\varphi_3 - M_3 - P_0(R)R_0 - (\Delta P_1 + \Delta P_2)R_0 - \\ - C_3 R_0^2 \varphi_3 + C_3 R R_0 \varphi_2 = C_{13}\varphi_1 - (C_{13} + C_3 R_0^2)\varphi_3 + C_3 R R_0 \varphi_2 + U_4, \\ U_4 = -M_3 - P_0(R)R_0 - (\Delta P_1 + \Delta P_2)R_0, \end{cases} \quad (7)$$

де J_1 – приведений момент інерції головного вала ротора електродвигуна і приєднаних мас механізмів голичниці, замикачів, вушковин, гребінок (для ткацького верстата – це приведений момент інерції головного вала ротора електродвигуна і приєднаних мас батана, бойового механізму, механізму зівоутворення); J_2 – приведений момент інерції навою (навоїв) і механізму подачі основи; J_3 – приведений момент інерції механізму відтяжки і пакатки полотна; C_{12} – приведений коефіцієнт жорсткості передачі між навоєм і головним валом машини; C_{13} – приведений коефіцієнт жорсткості передачі між головним валом машини та відтяжним валом; M_1 – рушійний момент (в умовах нашої задачі вважаємо його постійним); M_{-1} – приведений момент сил опору, що діють на механізми голичниць, замикачів, вушковин і платин (для ткацького верстата – приведений момент сил опору, що діють на механізми батана, зівоутворення, бою); M_2 , M_3 – приведені моменти сил опору, що діють на механізми подачі основи, відтяжки і накатки полотна.

Подана тримасова динамічна модель має три ступеня свободи. Вивчення вимушених коливань даної системи буде базуватися на розкладанні рішення по нормальних формах коливань. Цей підхід потребує попереднього розрахунку частот і форм вільних коливань. Таким чином, на попередньому етапі визначимо частоти і форми вільних коливань системи (величини M_1^* , U_3 , U_4 не враховуємо).

У загальному випадку для розгалуженої моделі система диференціальних рівнянь буде мати вигляд:

$$\begin{cases} J_1 \ddot{\varphi}_1 = -C_{12}(\varphi_1 - \varphi_2) - C_{13}(\varphi_1 - \varphi_3), \\ J_2 \ddot{\varphi}_2 = C_{12}\varphi_1 - (C_{12} + C_3 R^2)\varphi_2 + C_3 R_0 R \varphi_3, \\ J_3 \ddot{\varphi}_3 = C_{13}\varphi_1 - (C_{13} + C_3 R_0^2)\varphi_3 + C_3 R R_0 \varphi_2. \end{cases} \quad (8)$$

Вважаючи процес коливання елементів 1–3 неоднотонним, запишемо рішення системи диференціальних рівнянь (8) як суму гармонійних функцій для різноманітних частот p_i :

$$\begin{cases} \varphi_1 = A_{11} \sin(p_1 t + \alpha_1) + A_{12} \sin(p_2 t + \alpha_2) + \dots + A_{1,n-1} \sin(p_{n-1} t + \alpha_{n-1}), \\ \varphi_2 = A_{21} \sin(p_1 t + \alpha_1) + A_{22} \sin(p_2 t + \alpha_2) + \dots + A_{2,n-1} \sin(p_{n-1} t + \alpha_{n-1}), \\ \varphi_3 = A_{31} \sin(p_1 t + \alpha_1) + A_{32} \sin(p_2 t + \alpha_2) + \dots + A_{3,n-1} \sin(p_{n-1} t + \alpha_{n-1}). \end{cases} \quad (9)$$

де $A_{11} \dots A_{1,n-1}$ – амплітуди коливання першого тіла; $A_{21} \dots A_{2,n-1}$ – амплітуди коливання другого тіла; $A_{31} \dots A_{3,n-1}$ – амплітуди коливання третього тіла; $\alpha_1 \dots \alpha_{n-1}$ – початкові фази коливань; t – час.

Продиференціюємо систему рівнянь (9) двічі за часом:

$$\begin{cases} \frac{\partial \varphi_1}{\partial t} = \dot{\varphi}_1 = \sum_{i=1}^{n-1} A_{1i} p_i \cos(p_i t + \alpha_i), \\ \frac{\partial \varphi_2}{\partial t} = \dot{\varphi}_2 = \sum_{i=1}^{n-1} A_{2i} p_i \cos(p_i t + \alpha_i), \\ \frac{\partial \varphi_3}{\partial t} = \dot{\varphi}_3 = \sum_{i=1}^{n-1} A_{3i} p_i \cos(p_i t + \alpha_i), \\ \frac{\partial^2 \varphi_1}{\partial t^2} = \ddot{\varphi}_1 = -\sum_{i=1}^{n-1} A_{1i} p_i^2 \sin(p_i t + \alpha_i), \\ \frac{\partial^2 \varphi_2}{\partial t^2} = \ddot{\varphi}_2 = -\sum_{i=1}^{n-1} A_{2i} p_i^2 \sin(p_i t + \alpha_i), \\ \frac{\partial^2 \varphi_3}{\partial t^2} = \ddot{\varphi}_3 = -\sum_{i=1}^{n-1} A_{3i} p_i^2 \sin(p_i t + \alpha_i). \end{cases} \quad (10)$$

Підставляємо систему диференціальних рівнянь (10) в (8), отримуємо:

$$\begin{cases} -J_1 \sum_{i=1}^{n-1} A_{1i} p_i^2 \sin(p_i t + \alpha_i) = -C_{12} \left[\sum_{i=1}^{n-1} A_{1i} \sin(p_i t + \alpha_i) - \sum_{i=1}^{n-1} A_{2i} \sin(p_i t + \alpha_i) \right] - \\ - C_{13} \left[\sum_{i=1}^{n-1} A_{1i} \sin(p_i t + \alpha_i) - \sum_{i=1}^{n-1} A_{3i} \sin(p_i t + \alpha_i) \right], \\ -J_2 \sum_{i=1}^{n-1} A_{2i} p_i^2 \sin(p_i t + \alpha_i) = C_{12} \sum_{i=1}^{n-1} A_{1i} \sin(p_i t + \alpha_i) - \\ - (C_{12} + C_3 R^2) \sum_{i=1}^{n-1} A_{2i} \sin(p_i t + \alpha_i) + C_3 R_0 R \sum_{i=1}^{n-1} A_{3i} \sin(p_i t + \alpha_i), \\ -J_3 \sum_{i=1}^{n-1} A_{3i} p_i^2 \sin(p_i t + \alpha_i) = C_{13} \sum_{i=1}^{n-1} A_{1i} \sin(p_i t + \alpha_i) - \\ - (C_{13} + C_3 R_0^2) \sum_{i=1}^{n-1} A_{3i} \sin(p_i t + \alpha_i) + C_3 R R_0 \sum_{i=1}^{n-1} A_{2i} \sin(p_i t + \alpha_i). \end{cases}$$

Спростимо останню систему рівнянь, для чого скоротимо ліву і праву частини на $\sin(p_i t + \alpha_i)$:

$$\begin{cases} -J_1 \sum_{i=1}^{n-1} A_{1i} p_i^2 = -C_{12} \sum_{i=1}^{n-1} (A_{1i} - A_{2i}) - C_{13} \sum_{i=1}^{n-1} (A_{1i} - A_{3i}), \\ -J_2 \sum_{i=1}^{n-1} A_{2i} p_i^2 = C_{12} \sum_{i=1}^{n-1} A_{1i} - (C_{12} + C_3 R^2) \sum_{i=1}^{n-1} A_{2i} + C_3 R_0 R \sum_{i=1}^{n-1} A_{3i}, \\ -J_3 \sum_{i=1}^{n-1} A_{3i} p_i^2 = C_{13} \sum_{i=1}^{n-1} A_{1i} - (C_{13} + C_3 R_0^2) \sum_{i=1}^{n-1} A_{3i} + C_3 R R_0 \sum_{i=1}^{n-1} A_{2i}. \end{cases} \quad (11)$$

Складаємо систему частотних рівнянь для розгалуженої динамічної моделі в канонічному вигляді:

$$\begin{cases} -J_1 A_1 p^2 = -C_{12} (A_1 - A_2) - C_{13} (A_1 - A_3), \\ -J_2 A_2 p^2 = C_{12} A_1 - (C_{12} + C_3 R^2) A_2 + C_3 R_0 R A_3, \\ -J_3 A_3 p^2 = C_{13} A_1 - (C_{13} + C_3 R_0^2) A_3 + C_3 R R_0 A_2, \end{cases}$$

або

$$\begin{cases} -J_1 A_1 p^2 = -C_{12} (A_1 - A_2) - C_{13} (A_1 - A_3), \\ -J_2 A_2 p^2 = C_{12} A_1 - b_1 A_2 + b_2 A_3, \\ -J_3 A_3 p^2 = C_{13} A_1 - b_3 A_3 + b_2 A_2, \end{cases} \quad (12)$$

де $b_1 = (C_{12} + C_3 R^2)$, $b_2 = C_3 R_0 R$, $b_3 = C_{13} + C_3 R_0^2$,

$$A_1 p^2 = \sum_{i=1}^{n-1} A_{1i} p_i^2, \quad (A_1 - A_2) = \sum_{i=1}^{n-1} (A_{1i} - A_{2i}), \quad A_1 - A_3 = \sum_{i=1}^{n-1} (A_{1i} - A_{3i}),$$

$$A_2 p^2 = \sum_{i=1}^{n-1} A_{2i} p_i^2, \quad A_3 p^2 = \sum_{i=1}^{n-1} A_{3i} p_i^2.$$

Система рівнянь (12) дозволяє обчислити частоту і знайти форму коливань. З першого рівняння системи (12) знаходимо:

$$A_1 (C_{12} + C_{13} - J_1 p^2) = C_{12} A_2 + C_{13} A_3,$$

або

$$A_2 = \frac{A_1 (C_{12} + C_{13} - J_1 p^2)}{C_{12}} - \frac{C_{13}}{C_{12}} A_3. \tag{13}$$

Підставимо отриманий результат (13) у друге рівняння системи (12), тоді:

$$\frac{A_1 (C_{12} + C_{13} - J_1 p^2) (b_1 - J_1 p^2)}{C_{12} b} - \frac{C_{13} A_3 (b_1 - J_2 p^2)}{12 \cdot b_2} - \frac{12 A_1}{b_2} = A_3,$$

або

$$A_3 = \frac{A_1 (C_{12} + C_{13} - J_1 p^2) (b_1 - J_2 p^2)}{[12 b_2 + 13 (b_1 - J_2 p^2)]} - \frac{C_{12}^2 A_1}{[C_{12} b_2 + C_{13} (b_1 - J_2 p^2)]}. \tag{14}$$

Після цього підставляємо рівняння (13), (14) у третє рівняння системи (12) та одержимо рівняння, що містить амплітуду A_1 :

$$\begin{aligned} & \frac{A_1 (C_{12} + C_{13} - J_1 p^2) (b_1 - J_2 p^2) (b_3 - J_3 p^2)}{[12 b_2 + 13 (b_1 - J_2 p^2)]} - \frac{C_{12}^2 A_1 (b_3 - J_3 p^2)}{[C_{12} b_2 + C_{13} (b_1 - J_2 p^2)]} = \\ & = C_{13} A_1 + \frac{b_2 A_1 (12 + 13 - J_1 p^2)}{C_{12}} - \frac{b_2 C_{13} A_1 (C_{12} + C_{13} - J_1 p^2) (b_1 - J_2 p^2)}{C_{12} [C_{12} b_2 + 13 (b_1 - J_2 p^2)]} + \\ & + \frac{b_2 C_{13} C_{12}^2 A_1}{C_{12} [C_{12} b_2 + C_{13} (b_1 - J_2 p^2)]}. \end{aligned}$$

Скоротимо ліву і праву частини на A_1 , спростимо і приведемо подібні:

$$\begin{aligned} & - C_{12}^2 b_1 b_3 + {}_{12}^2 b_3 J_2 p^2 + J_3 p^2 C_{12}^2 b_1 - J_2 J_3 C_{12}^2 p^4 - C_{12} C_{13} b_1 b_3 + {}_{12}^2 b_3 J_2 p^2 + \\ & + C_{12} C_{13} J_3 p^2 b_1 - {}_{12}^2 b_3 J_2 J_3 p^4 + J_1 p^2 C_{12} b_1 b_3 - J_1 J_2 p^4 C_{12} b_3 - J_1 J_3 p^4 C_{12} b_1 + \\ & + J_1 J_2 J_3 C_{12} p^6 + C_{12}^3 b_3 - J_3 p^2 C_{12}^3 + 2 C_{12}^2 C_{13} b_2 + {}_{12}^2 b_1 - J_2 p^2 C_{12} C_{13}^2 + \\ & + C_{12}^2 b_2^2 + {}_{12}^2 b_2^2 - {}_{13}^2 b_2 J_2 p^2 - {}_{12}^2 b_2^2 J_1 p^2 - J_1 p^2 {}_{13} b_1 b_2 + J_1 J_2 p^2 {}_{13} b_2 + \\ & + b_2 {}_{13}^2 J_2 p^2 - J_1 J_2 p^4 b_2 C_{13} = 0. \end{aligned}$$

Після перетворення

$$\begin{aligned} & (J_1 J_2 J_3 C_{12}) p^6 - \\ & - [(J_1 J_2 b_2 C_{13}) + J_2 J_3 C_{12}^2 + {}_{12}^2 b_3 J_2 J_3 + J_1 J_2 C_{12} b_3 + J_1 J_3 C_{12} b_1] p^4 + \\ & + [(-C_{12} b_2 J_1 - J_1 C_{13} b_1 + J_1 J_2 C_{13}) b_2 + C_{12}^2 b_3 J_2 + J_3 C_{12}^2 b_1 + \\ & + C_{12} C_{13} b_3 J_2 + C_{12} C_{13} J_3 b_1 + J_1 C_{12} b_1 b_3 - J_3 C_{12}^3 - J_2 C_{12} C_{13}^2] p^2 + \\ & (2 C_{12}^2 C_{13} + C_{12}^2 b_2 + C_{12} C_{13} b_2) b_2 - C_{12}^2 b_1 b_3 - C_{12} C_{13} b_1 b_3 + C_{12}^3 b_3 + C_{12} C_{13} b_1 = 0. \end{aligned} \tag{15}$$

Для рішення рівняння (15) був використаний прикладний пакет математичних програм Mathcad. За результатами розрахунків були отримані такі вирази для шести значень частот:

$$\begin{aligned} p_{1,2} &= \pm \frac{1}{6a\sqrt[3]{Z}} \sqrt{(-6a\sqrt[3]{Z})^2 - 2\sqrt[3]{Z} - Z^{\frac{2}{3}} + 12ca - 4^2}, \\ p_{3,4} &= \pm \frac{\sqrt{3}}{6a\sqrt[3]{Z}} \sqrt{a\sqrt[3]{Z} \left(\begin{aligned} & -\sqrt[3]{Z} + 12ca - 4b^2 + 4b\sqrt[3]{Z} + i\sqrt{3} \cdot Z^{\frac{2}{3}} + \\ & + 12 \cdot i\sqrt{3} \cdot c \cdot a - 4i\sqrt{3}b^2, \end{aligned} \right)}, \end{aligned}$$

$$p_{5,6} = \pm \frac{1}{6a\sqrt[3]{Z}} \sqrt{(-3a\sqrt[3]{Z}) \left(\sqrt[3]{Z} - 12ca + 4b^2 - 4b\sqrt[3]{Z} + i\sqrt{3} \cdot Z^{\frac{1}{3}} + \right) + 12 \cdot i\sqrt{3} \cdot c \cdot a - 4i\sqrt{3}b^2,}$$

$$Z = -36c \cdot b \cdot a - 108da^2 + 8b^3 +$$

$$+ 12\sqrt{3} \sqrt{(4c^3a - c^2b^2 + 18cbad + 27d^2a^2 - 4db^3)} \cdot a,$$

$$a = J_1 J_2 J_3 C_{12},$$

$$b = [(J_1 J_2 J_3 C_{13}) + J_2 J_3 C_{12}^2 + C_{12} C_{13} J_2 J_3 + J_1 J_2 C_{12} b_3 + J_1 J_3 C_{12} b_1],$$

$$c = [(-C_{12} b_2 J_1 - J_1 C_{13} b_1 + J_1 J_2 C_{13}) b_2 + C_{12}^2 b_3 J_2 + J_3 C_{12}^2 b_1 +$$

$$C_{12} C_{13} b_3 J_2 + C_{12} C_{13} J_3 b_1 + J_1 C_{12} b_1 b_3 - J_3 C_{12}^2 - J_2 C_{12} C_{13}],$$

$$d = (2C_{12}^2 C_{13} + C_{12}^2 b_2 + C_{12} C_{13} b_2) b_2 - C_{12}^2 b_1 b_3 - C_{12} C_{13} b_1 b_3 + C_{12}^3 b_3 + C_{12} C_{13}^2 b_1.$$

За формулами (16) були розраховані значення власних частот коливань. При цьому враховувалися тільки позитивні значення (негативні і комплексні значення не враховувалися). У таблиці 1 подані результати розрахунку частот у залежності від значення коефіцієнтів b, c, d (коефіцієнт $a=1$). Для цього ліву і праву частини рівності (15) необхідно розділити на $J_1 J_2 J_3 C_{12}$. Величина коефіцієнта b змінювалась у межах від 10 до 28 з кроком 2, а величина коефіцієнта c – у межах від 8 до 26 з кроком 2. Розмір коефіцієнта d дорівнював $-0,9; -1,8; -2,7$. Такі значення відповідають значенням $J_1 = 0,38 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$; $J_2 = 13,4 \div 0,4 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$; $J_3 = 0,1 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$; $C_{12} = 0,3 \frac{\text{Н}\cdot\text{м}}{\text{рад}}$; $C_{13} = 0,7 \frac{\text{Н}\cdot\text{м}}{\text{рад}}$; $b_1 = 3,5 \frac{\text{Н}\cdot\text{м}}{\text{рад}}$; $b_2 = 0,4 \frac{\text{Н}\cdot\text{м}}{\text{рад}}$; $b_3 = 0,75 \frac{\text{Н}\cdot\text{м}}{\text{рад}}$.

Таблиця 1

		$d = -0,9$									
b	c										
	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	
10	0,37	0,32	0,28	0,26	0,24	0,23	0,22	0,20	0,2	0,19	
	0,85	1,01	1,14	1,27	1,39	1,51	1,64	1,79	0,2		
	3,02	2,98	2,94	2,89	2,83	2,77	2,69	2,6	2,4		
12	0,378	0,32	0,29	0,26	0,24	0,23	0,215	0,21	0,19	0,188	
	0,75	0,89	1,01	1,1	1,21	1,3	1,39	1,49	1,58	1,669	
	3,36	3,33	3,3	3,27	3,24	3,2	3,16	3,12	3,08	3,00	
14	0,39	0,33	0,29	0,26	0,24	0,23	0,22	0,21	0,19	0,19	
	0,66	0,8	0,91	1	1,09	1,17	1,25	1,33	1,39	1,47	
	3,66	3,64	3,62	3,59	3,57	3,55	3,52	3,49	3,47	3,44	
16	0,41	0,33	0,29	0,26	0,25	0,23	0,22	0,21	0,19	0,19	
	0,59	0,73	0,84	0,93	1,0	1,08	1,15	1,21	1,28	1,34	
	3,94	3,92	3,9	3,88	3,86	3,85	3,83	3,81	3,79	3,76	
18	0,4	0,34	0,29	0,27	0,25	0,23	0,217	0,21	0,19	0,288	
	0,5	0,68	0,78	0,86	0,94	1	1,07	1,13	1,19	1,24	
	4,0	4,18	4,16	4,15	4,13	4,12	4,1	4,09	4,07	4,05	
20		0,34	0,29	0,27	0,25	0,23	0,22	0,21	0,19	0,19	
		0,63	0,73	0,81	0,88	0,94	1	1,06	1,11	1,17	
	4,43	4,42	4,4	4,39	4,38	4,37	4,35	4,34	4,33	4,31	
22		0,35	0,29	0,27	0,25	0,23	0,22	0,21	0,19	0,19	
		0,58	0,68	0,76	0,83	0,89	0,95	1	1,05	1,1	
	4,65	4,64	4,63	4,62	4,61	4,59	4,59	4,58	4,57	4,56	
24		0,36	0,3	0,27	0,25	0,23	0,22	0,21	0,19	0,19	
		0,54	0,65	0,72	0,79	0,85	0,9	0,95	1	1,05	
	4,87	4,86	4,85	4,84	4,83	4,82	4,81	4,8	4,79	4,78	
26		0,4	0,3	0,27	0,25	0,23	0,22	0,21	0,19	0,18	
		0,5	0,6	0,69	0,75	0,81	0,86	0,91	0,96	1,0	
	5	5,0	5	5,1	5,04	5,03	5,02	5,01	5	4,9	
28			0,3	0,28	0,25	0,23	0,22	0,21	0,19	0,18	
			0,6	0,66	0,72	0,78	0,83	0,87	0,92	0,93	
	5,2	5,3	5,2	5,24	5,24	5,23	5,22	5,21	5,21	5,21	

Закінчення табл. 1

$d = -1,8$										
b	c									
	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26
10		0,48 0,93 3,024	0,4 1,1 2,9	0,38 1,2 2,88	0,34 1,4 2,83	0,32 1,5 2,77	0,3 1,6 2,7	0,29 1,76 2,6	0,28 1,9 2,5	0,27
12	3,4	0,51 0,79 3,33	0,43 0,95 3,3	0,38 1,07 3,27	0,35 1,18 3,24	0,33 1,28 3,2	0,31 1,37 3,17	0,29 1,47 3,13	0,28 1,56 3,08	0,2 1,6 3
14	3,6	0,6 0,7 3,6	0,44 0,85 3,62	0,39 0,96 3,59	0,36 1,06 3,57	0,33 1,15 3,55	0,31 1,23 3,52	0,29 1,31 3,49	0,28 1,38 3,47	0,27 1,46 3,44
16	3,94	0,4 0,8 3,9	0,39 0,87 3,9	0,36 0,97 3,88	0,36 0,97 3,87	0,33 1,05 3,85	0,31 1,12 3,83	0,29 1,19 3,81	0,28 1,26 3,79	0,27 1,32 3,77
18	4,19	0,5 0,7 4,2	0,4 0,8 4,2	0,36 0,89 4,15	0,34 0,89 4,13	0,31 0,97 4,12	0,29 1,04 4,1	0,28 1,11 4,09	0,27 1,17 4,07	0,27 1,23 4,05
20	4,43	0,5 0,5 4,4	0,41 0,74 4,4	0,37 0,83 4,39	0,37 0,83 4,38	0,34 0,91 4,37	0,32 0,98 4,35	0,29 1,04 4,34	0,28 1,09 4,33	0,27 1,15 4,31
22	4,65	0,4 0,7 4,64	0,37 0,78 4,6	0,34 0,86 4,46	0,34 0,78 4,61	0,32 0,92 4,59	0,3 0,92 4,59	0,29 1,03 4,58	0,27 1,08 4,57	0,27 1,08 4,56
24	4,87	0,5 0,6 4,86	0,38 0,74 4,85	0,38 0,83 4,85	0,38 0,74 4,83	0,35 0,81 4,82	0,32 0,87 4,81	0,3 0,93 4,8	0,29 0,98 4,79	0,27 1,03 4,78
26	5,2	0,4 0,5 5,1	0,38 0,69 5,1	0,35 0,77 5	0,35 0,69 5,04	0,32 0,77 5,03	0,31 0,83 5,02	0,31 0,88 5,01	0,31 0,9 5,01	0,3 0,9 4,9
28	5,3	0,4 0,65 5,2	0,38 0,73 5,2	0,35 0,8 5,2	0,4 0,65 5,24	0,4 0,73 5,23	0,3 0,8 5,22	0,3 0,8 5,22	0,3 0,89 5,21	0,3 0,9 5,21
$d = -2,7$										
b	c									
	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26
10	3,03		0,54 1,03 2,94	0,48 1,19 2,89	0,44 1,32 2,84	0,41 1,46 2,78	0,38 1,59 2,71	0,36 1,74 2,62	0,34 1,92 2,49	0,33
12	3,36		0,58 0,86 3,34	0,49 1,02 3,3	0,44 1,14 3,24	0,41 1,25 3,21	0,39 1,35 3,17	0,36 1,45 3,13	0,35 1,54 3,08	0,33 1,64 3,04
14	3,66		0,51 0,89 3,64	0,45 1,02 3,62	0,45 1,02 3,59	0,42 1,11 3,55	0,39 1,2 3,52	0,37 1,28 3,49	0,35 1,36 3,47	0,33 1,44 3,44
16	3,94		0,53 0,79 3,92	0,46 0,92 3,9	0,46 0,92 3,88	0,42 1,01 3,85	0,39 1,09 3,83	0,37 1,17 3,81	0,35 1,24 3,79	0,33 1,31 3,77
18	4,19		0,58 0,69 4,18	0,47 0,84 4,16	0,47 0,84 4,15	0,43 0,93 4,12	0,39 1,01 4,10	0,37 1,08 4,09	0,35 1,15 4,07	0,34 1,21 4,1
20	4,43		0,49 0,77 4,42	0,44 0,77 4,4	0,44 0,77 4,39	0,44 0,86 4,37	0,4 0,94 4,35	0,38 1,01 4,34	0,35 1,07 4,33	0,34 1,13 4,31
22	4,65		0,51 0,69 4,64	0,44 0,81 4,63	0,44 0,69 4,62	0,44 0,81 4,56	0,41 0,88 4,59	0,38 0,95 4,58	0,36 1,01 4,57	0,34 1,06 4,56
24	4,87		0,57 0,59 4,86	0,45 0,75 4,85	0,45 0,59 4,84	0,45 0,75 4,83	0,41 0,83 4,81	0,38 0,89 4,8	0,36 0,96 4,79	0,34 1,01 4,78
26	5,07		0,47 0,69 5,06	0,42 0,78 5,05	0,42 0,69 5,05	0,42 0,78 5,04	0,39 0,78 5,02	0,36 0,85 5,01	0,36 0,91 5,01	0,34 0,96 4,99
28	5,26		0,49 0,65 5,25	0,42 0,74 5,25	0,42 0,65 5,24	0,42 0,74 5,24	0,39 0,81 5,23	0,37 0,81 5,22	0,37 0,87 5,21	0,35 0,92 5,2

За результатами розрахунків було отримано апроксимаційні залежності для значень Z позитивних частот коливань розгалуженої динамічної моделі для різних значень коефіцієнтів. Апроксимаційні залежності мають вигляд:

$$\begin{aligned} d = -0,9 \quad Z &= 0,97 + 0,18b - 0,0002b^3, \\ d = -1,8 \quad Z &= 3,64 - \frac{81,6 \ln(b)}{b^2}, \\ d = -2,7 \quad Z &= 0,1 + 0,01b^{2,5} - 0,002 \cdot b^3. \end{aligned}$$

Отримані апроксимаційні залежності можуть використовуватися для прогнозування при визначенні числа частот власних коливань розгалуженої динамічної моделі, що описує рух трикотажної машини і ткацького верстата.

Рішення системи диференціальних рівнянь (7) будемо здійснювати шляхом розкладання рішення за нормальними формами коливань. Рішення може бути подано системою рівнянь:

$$\begin{cases} \varphi_1 = A_{11} \sin(p_1 t + \alpha_1) + A_{12} \sin(p_2 t + \alpha_2) + \dots + A_{1n} \sin(p_n t + \alpha_n) = \\ = \sum_{i=1}^n A_{1i} \sin(p_i t + \alpha_i), \\ \varphi_2 = A_{21} \sin(p_1 t + \alpha_1) + A_{22} \sin(p_2 t + \alpha_2) + \dots + A_{2n} \sin(p_n t + \alpha_n) = \\ = \sum_{i=1}^n A_{2i} \sin(p_i t + \alpha_i), \\ \varphi_3 = A_{31} \sin(p_1 t + \alpha_1) + A_{32} \sin(p_2 t + \alpha_2) + \dots + A_{3n} \sin(p_n t + \alpha_n) = \\ = \sum_{i=1}^n A_{3i} \sin(p_i t + \alpha_i). \end{cases} \quad (17)$$

Проведемо заміну перемінних в системі рівнянь (17):

$$\begin{cases} \varphi_1(t) = f_0(t) + A_{11} f_1(t) + A_{12} f_2(t) + \dots + A_{1,n-1} f_{n-1}(t) = f_0(t) + \sum_{k=1}^{n-1} A_{1,k} f_k(t), \\ \varphi_2(t) = f_0(t) + A_{21} f_1(t) + A_{22} f_2(t) + \dots + A_{2,n-1} f_{n-1}(t) = f_0(t) + \sum_{k=1}^{n-1} A_{2,k} f_k(t), \\ \varphi_3(t) = f_0(t) + A_{31} f_1(t) + A_{32} f_2(t) + \dots + A_{3,n-1} f_{n-1}(t) = f_0(t) + \sum_{k=1}^{n-1} A_{3,k} f_k(t), \end{cases} \quad (18)$$

де $f_0(t), f_1(t) \dots f_{n-1}(t)$ — нові функції, зв'язані з $\varphi_1(t), \varphi_2(t), \varphi_3(t)$ за допомогою системи (18).

Після деяких перетворень (18) можливо подати у наступному вигляді:

$$\begin{aligned} \varphi_1(t) &= \left[F_0 - \frac{U_5}{p_0^2(J_1 + J_2 + J_3)} \right] \cos p_0 t + \frac{\dot{F}_0}{p_0} \sin p_0 t + \\ &+ \frac{U_5}{p_0^2(J_1 + J_2 + J_3)} + A_{11} \left[F_1 - \frac{A_{11} M_1^* + U_3 A_{21} + U_4 A_{31}}{p_1^2(J_1 A_{11}^2 + J_2 A_{21}^2 + J_3 A_{31}^2)} \right] \times \\ &\times \cos p_1 t + \frac{A_{11} \dot{F}_1}{p_1} \sin p_1 t + \frac{A_{11} (A_{11} M_1^* + U_3 A_{21} + U_4 A_{31})}{p_1^2(J_1 A_{11}^2 + J_2 A_{21}^2 + J_3 A_{31}^2)} + A_{12} \times \\ &\times \left[F_2 - \frac{M_1^* A_{12} + U_3 A_{22} + U_4 A_{32}}{p_2^2(J_1 A_{12}^2 + J_2 A_{22}^2 + J_3 A_{32}^2)} \right] \times \cos p_2 t + \frac{A_{12} \dot{F}_2}{p_2} \sin p_2 t + \\ &+ \frac{A_{12} (M_1^* A_{12} + U_3 A_{22} + U_4 A_{32})}{p_2^2(J_1 A_{12}^2 + J_2 A_{22}^2 + J_3 A_{32}^2)} + A_{13} \times \\ &\times \left[F_3 - \frac{M_1^* A_{13} + U_3 A_{23} + U_4 A_{33}}{p_3^2(J_1 A_{13}^2 + J_2 A_{23}^2 + J_3 A_{33}^2)} \right] \times \cos p_3 t + \frac{A_{13} \dot{F}_3}{p_3} \sin p_3 t + \\ &+ \frac{A_{13} (M_1^* A_{13} + U_3 A_{23} + U_4 A_{33})}{p_3^2(J_1 A_{13}^2 + J_2 A_{23}^2 + J_3 A_{33}^2)}, \end{aligned} \quad (19)$$

$$\begin{aligned}
 \varphi_2(t) = & \left[F_0 - \frac{U_5}{p_0^2(J_1 + J_2 + J_3)} \right] \cos p_0 t + \frac{\dot{F}_0}{p_0} \sin p_0 t + \\
 & + \frac{U_5}{p_0^2(J_1 + J_2 + J_3)} + A_{21} \left[F_1 - \frac{A_{11} M_1^* + U_3 A_{21} + U_4 A_{31}}{p_1^2(J_1 A_{11}^2 + J_2 A_{21}^2 + J_3 A_{31}^2)} \right] \times \\
 & \times \cos p_1 t + \frac{A_{21} \dot{F}_1}{p_{11}} \sin p_1 t + \frac{A_{21} (A_{11} M_1^* + U_3 A_{21} + U_4 A_{31})}{p_1^2(J_1 A_{11}^2 + J_2 A_{21}^2 + J_3 A_{31}^2)} + A_{22} \times \\
 & \times \left[F_2 - \frac{M_1^* A_{12} + U_3 A_{22} + U_4 A_{32}}{p_2^2(J_1 A_{12}^2 + J_2 A_{22}^2 + J_3 A_{32}^2)} \right] \times \cos p_2 t + \frac{A_{22} \dot{F}_2}{p_2} \sin p_2 t + \\
 & + \frac{A_{22} (M_1^* A_{12} + U_3 A_{22} + U_4 A_{32})}{p_2^2(J_1 A_{12}^2 + J_2 A_{22}^2 + J_3 A_{32}^2)} + A_{23} \times \\
 & \times \left[F_3 - \frac{M_1^* A_{13} + U_3 A_{23} + U_4 A_{33}}{p_3^2(J_1 A_{13}^2 + J_2 A_{23}^2 + J_3 A_{33}^2)} \right] \times \cos p_3 t + \frac{A_{23} \dot{F}_3}{p_3} \sin p_3 t + \\
 & + \frac{A_{23} (M_1^* A_{13} + U_3 A_{23} + U_4 A_{33})}{p_3^2(J_1 A_{13}^2 + J_2 A_{23}^2 + J_3 A_{33}^2)}, \\
 \varphi_3(t) = & \left[F_0 - \frac{U_5}{p_0^2(J_1 + J_2 + J_3)} \right] \cos p_0 t + \frac{\dot{F}_0}{p_0} \sin p_0 t + \\
 & + \frac{U_5}{p_0^2(J_1 + J_2 + J_3)} + A_{31} \left[F_1 - \frac{A_{11} M_1^* + U_3 A_{21} + U_4 A_{31}}{p_1^2(J_1 A_{11}^2 + J_2 A_{21}^2 + J_3 A_{31}^2)} \right] \times \\
 & \times \cos p_1 t + \frac{A_{31} \dot{F}_1}{p_1} \sin p_1 t + \frac{A_{31} (A_{11} M_1^* + U_3 A_{21} + U_4 A_{31})}{p_1^2(J_1 A_{11}^2 + J_2 A_{21}^2 + J_3 A_{31}^2)} + A_{32} \times \\
 & \times \left[F_2 - \frac{M_1^* A_{12} + U_3 A_{22} + U_4 A_{32}}{p_2^2(J_1 A_{12}^2 + J_2 A_{22}^2 + J_3 A_{32}^2)} \right] \times \cos p_2 t + \frac{A_{32} \dot{F}_2}{p_2} \sin p_2 t + \\
 & + \frac{A_{32} (M_1^* A_{12} + U_3 A_{22} + U_4 A_{32})}{p_2^2(J_1 A_{12}^2 + J_2 A_{22}^2 + J_3 A_{32}^2)} + A_{33} \times \\
 & \times \left[F_3 - \frac{M_1^* A_{13} + U_3 A_{23} + U_4 A_{33}}{p_3^2(J_1 A_{13}^2 + J_2 A_{23}^2 + J_3 A_{33}^2)} \right] \times \cos p_3 t + \frac{A_{33} \dot{F}_3}{p_3} \sin p_3 t + \\
 & + \frac{A_{33} (M_1^* A_{13} + U_3 A_{23} + U_4 A_{33})}{p_3^2(J_1 A_{13}^2 + J_2 A_{23}^2 + J_3 A_{33}^2)}.
 \end{aligned}$$

Отримана система рівнянь (19) дозволяє визначати, як змінюється розмір натягу P_2 пружної системи заправки трикотажних і текстильних машин у залежності від конструктивних параметрів не тільки при несталих режимах (періоди пуску і зупинки), але і при сталому режимі роботи з урахуванням нерівномірності обертання головного вала ((3)–(5)). У третій формулі системи (6) функціонал n_Σ , що забезпечує стабілізацію натягу ниток пружної системи заправки, буде мати вигляд:

$$n_\Sigma = n_2 [m_0(R); C_3 R_0 \varphi_3; C_3 R \varphi_2] \Big|_{\rightarrow const}^{\rightarrow \min} \quad (20)$$

При сталому режимі роботи, для забезпечення необхідних умов оптимізації, необхідно виконання такої рівності:

$$\varphi_3(t) = \frac{R}{R_0} \varphi_2(t), \quad \Delta = \frac{R}{R_0}, \quad (21)$$

яка забезпечує рівну подачу ниток основи і відвід сформованого трикотажного полотна або тканини за одиницю часу. Підставляємо в (21) друге і третє рівняння системи (18), згрупуємо члени за відповідними функціями, отримуємо:

$$f_1(t)(A_{31} - \Delta \cdot A_{21}) + f_2(t)(A_{32} - \Delta \cdot A_{22}) + f_3(t)(A_{33} - \Delta \cdot A_{23}) = 0. \quad (22)$$

Необхідно відзначити, що при перетвореннях нами враховувалися тільки функції, що відповідають відмінним значенням частот, а загальна для тіл 2 і 3 функція $f_0(t)$ у виразі не входила. З урахуванням ортогональності нормальних форм коливань одержимо таку систему, що дозволяє забезпечити умови функціонала (20) і досягти стабілізації натягу:

$$\begin{cases} A_{31} - \Delta \cdot A_{21} = 0, \\ A_{32} - \Delta \cdot A_{22} = 0, \\ A_{33} - \Delta \cdot A_{23} = 0. \end{cases} \quad (23)$$

Остання система (23) визначає співвідношення між собою відповідних початкових амплітуд для кожної форми коливання. Коефіцієнт Δ цілком залежить від радіуса навоя R і, отже, із часом система (23), при забезпеченні стабільності натягу пружної системи заправки, повинна змінюватись. Це можливо тільки при удосконалюванні механізмів подачі основи і відводу полотна або тканини на основі розробки нових механізмів і контролюючих приладів із використанням ультразвукових датчиків контролю лінійних розмірів, поверхневої щільності полотна. Крім того, розміри приведених вище амплітуд залежать від конструктивних параметрів технологічного устаткування, структури кінематичних ланцюгів, що передають рух від головного вала до зазначених вище механізмів подачі основи і відтяжки полотна або тканини.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Гордеев В.А., Волков П.В. Ткачество. – М.: Лёгкая и пищевая промышленность, 1984. – С. 488.
2. Гарбарук В.Н. Проектирование трикотажных машин. – Л.: Машиностроение, 1980. – С. 472
3. Севостьянов А.Г. Методы и средства исследования механико-технологических процессов текстильной промышленности. – М.: Лёгкая индустрия, 1980. – С. 392.
4. Власов П.В. Нормализация процесса ткачества. – М.: Лёгкая и пищевая промышленность, 1982. – С. 296.
5. Хомяк О.Н., Волощенко В.П. Расчёты надёжности элементов машин при проектировании. – К.: Высшая школа, 1988. – С. 167.
6. Сердюк В.П. Расчет приводов машин легкой промышленности. – К.: Техніка, 1978. – С. 232.
7. Совершенствование пневморепирных ткацких станков / И.А. Мартынов, Б.И. Корнев, Б.И. Мазинов, А.В. Мещеряков – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1984. – С. 264.

ЗДОРЕНКО Валерій Георгійович – кандидат технічних наук, доцент кафедри автоматизації та комп'ютерних систем Київського національного університету технологій та дизайну

Наукові інтереси:

- обладнання легкої промисловості та побутового обслуговування;
- контроль параметрів технологічних процесів;
- технологія машинобудування.

Подано 14.06.2001