УДК 677.054

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

ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ РОБОТИ МЕХАНІЗМУ ВІДВОДУ ТКАНИНИ ТКАЦЬКОГО ВЕРСТАТА

Розглянуто динаміку роботи механізму відводу тканини ткацького верстата типу АТ на основі динамічної моделі. Отримано аналітичні залежності, використання яких дозволить підвищити стабілізацію натягу пружної системи заправки верстата.

Для стабілізації натягу ниток при їх переробці на ткацьких верстатах необхідно забезпечити рівність довжини основи, що подається, та готової тканини, що відводиться, як за один оберт головного вала верстата, так і за час використання основи з навою [1, 2, 3]. Для цього необхідно провести дослідження динаміки роботи механізму відводу тканини. Дослідження проводились для автоматичного ткацького верстата АТ−100−5М. На рис. 1 подано відповідну динамічну модель. При цьому досліджувалась взаємодія приведеної маси 1 та вальяна В без урахування навою Н. Це пояснюється тим, що приведений коефіцієнт жорсткості пружної системи заправки c_2 значно менший, ніж приведений коефіцієнт жорсткості c_1 вала між шестернею та вальяном.

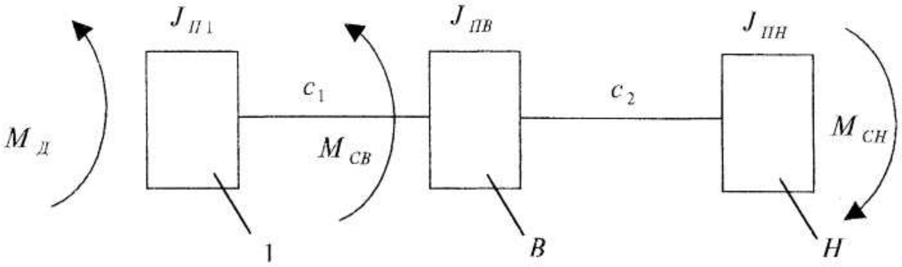

Рис. 1. Розрахункова динамічна модель

Система диференціальних рівнянь, що описують рух моделі при неусталеному режимі роботи, будуть мати такий вигляд:

$$\begin{cases} J_{П1}\ddot{\varphi}_1 = M_Д - c_1(\varphi_1 - \varphi_2) \\ J_{ПВ}\ddot{\varphi}_2 = c_1(\varphi_1 - \varphi_2) - M_{СВ} \end{cases}, \qquad (1)$$

де $M_д$ − рухаючий момент з боку тяги батана на храпове колесо;

$M_{СВ}$ − приведений момент опору з боку пружної системи заправки, що діє на вальян.

Визначимо власну частоту коливань p цієї системи. Для цього подамо рішення системи диференціальних рівнянь (1) у вигляді:

$$\begin{cases} \varphi_1 = A_1 \sin(pt + \alpha) \\ \varphi_2 = A_2 \sin(pt + \alpha) \\ \dot{\varphi}_1 = A_1 p \cos(pt + \alpha) \\ \dot{\varphi}_2 = A_2 p \cos(pt + \alpha) \\ \ddot{\varphi}_1 = -A_1 p^2 \sin(pt + \alpha) \\ \ddot{\varphi}_2 = -A_2 p^2 \sin(pt + \alpha) \end{cases}, \qquad (2)$$

де A_1, A_2 − відповідні амплітуди коливань тіла 1 та вальяна B;

p − частота власних коливань;

α − початкова фаза.

Підставляємо рівняння системи (2) в систему диференціальних рівнянь (1) та без урахування зовнішніх силових факторів, отримуємо:

$$\begin{cases} -A_1 p^2 J_{П1} \sin(pt + \alpha) = -c_1 A_1 \sin(pt + \alpha) + c_1 A_2 \sin(pt + \alpha) \\ -A_2 p^2 J_{ПВ} \sin(pt + \alpha) = c_1 A_1 \sin(pt + \alpha) - c_1 A_2 \sin(pt + \alpha) \end{cases}.$$

Після перетворень отримуємо:

$$\begin{cases} -A_1 p^2 J_{\Pi 1} = -c_1(A_1 - A_2) \\ -A_2 p^2 J_{\Pi B} = c_1(A_1 - A_2) \end{cases}. \tag{3}$$

Система рівнянь (3) використовувалась для визначення частотного рівняння. Для цього з першого та другого рівнянь знайдемо значення відношення амплітуд:

$$\frac{A_2}{A_1} = \frac{c_1 - p^2 J_{\Pi 1}}{c_1}, \qquad \frac{A_2}{A_1} = \frac{c_1}{c_1 - p^2 J_{\Pi B}}.$$

Прирівняємо дві останні рівності:

$$\frac{c_1 - p^2 J_{\Pi 1}}{c_1} = \frac{c_1}{c_1 - p^2 J_{\Pi B}}.$$

Звідси отримуємо:

$$p^2\left(-p^2 J_{\Pi 1} J_{\Pi B} + c_1 J_{\Pi 1} + c_1 J_{\Pi B}\right) = 0. \tag{4}$$

Розв'язок рівняння (4) дає два корені для квадрата частоти власних коливань:

$$p_1^2 = 0,\ p_2^2 = \frac{c_1(J_{\Pi 1} + J_{\Pi B})}{J_{\Pi 1} J_{\Pi B}}. \tag{5}$$

Нульова частота відповідає випадку, коли ця система розглядається як абсолютно жорстке тіло. У подальших розрахунках нас буде цікавити частота p_2, яку у подальшому будемо позначати як p.

Для пошуку розв'язку системи диференціальних рівнянь (1) скористаємось методом розкладу за нормальними формами коливань. Для цього проведемо заміну змінних у системі (2), вводячи нові функції $f_0(t)$ та $f_1(t)$:

$$\begin{cases} \varphi_1(t) = f_0(t) + A_1 f_1(t) \\ \varphi_2(t) = f_0(t) + A_2 f_1(t) \\ \dot{\varphi}_1(t) = \dot{f}_0(t) + A_1 \dot{f}_1(t) \\ \dot{\varphi}_2(t) = \dot{f}_0(t) + A_2 \dot{f}_1(t) \\ \ddot{\varphi}_1(t) = \ddot{f}_0(t) + A_1 \ddot{f}_1(t) \\ \ddot{\varphi}_2(t) = \ddot{f}_0(t) + A_2 \ddot{f}_1(t) \end{cases}. \tag{6}$$

Підставимо систему диференціальних рівнянь (6) у систему диференціальних рівнянь (1) та отримаємо:

$$\begin{cases} J_{\Pi 1}\ddot{f}_0(t) + J_{\Pi 1} A_1 \ddot{f}_1(t) = -c_1 f_0(t) - c_1 A_1 f_1(t) + c_1 f_0(t) + c_1 A_2 f_1(t) + M_{\partial} \\ J_{\Pi B}\ddot{f}_0(t) + J_{\Pi B} A_2 \ddot{f}_1(t) = c_1 f_0(t) + c_1 A_1 f_1(t) - c_1 f_0(t) - c_1 A_2 f_1(t) - M_{CB} \end{cases}. \tag{7}$$

Перетворимо систему диференціальних рівнянь (7) та складемо ліві та праві частини диференціальних рівнянь:

$$\begin{cases} J_{\Pi 1}\ddot{f}_0(t) + J_{\Pi 1} A_1\left[\ddot{f}_1(t) + p^2 f_1(t)\right] = M_{Д} \\ J_{\Pi B}\ddot{f}_0(t) + J_{\Pi B} A_2\left[\ddot{f}_1(t) + p^2 f_1(t)\right] = -M_{CB} \\ M_{Д} - M_{CB} = \ddot{f}_0(t)(J_{\Pi 1} + J_{\Pi B}) + \left[\ddot{f}_1(t) + p^2 f_1(t)\right]\cdot(A_1 J_{\Pi 1} + A_2 J_{\Pi B}) \end{cases}. \tag{8}$$

Якщо скористатись властивостями ортогональності нормальних форм коливань, то система диференціальних рівнянь (8) розпадається на незалежні рівняння. Перший доданок у правій частині третього рівняння системи (8) дає суму, що не дорівнює нулю: $\ddot{f}_0(t)(J_{\Pi 1} + J_{\Pi B}) \neq 0$, другий доданок буде дорівнювати нулю $\left[\ddot{f}_1(t) + p^2 f_1(t)\right]\cdot(A_1 J_{\Pi 1} + A_2 J_{\Pi B}) = 0$, тому що сума у дужках перетворюється у нуль внаслідок ортогональності першої нормальної та нульової форм коливань.

Тому

$$\ddot{f}_0(t)(J_{\Pi 1} + J_{\Pi B}) = M_{\partial} - M_{CB}. \tag{9}$$

Помножимо перше рівняння системи (8) на A_1, а друге – на A_2 та складемо ліві та праві частини:

$$\begin{cases} A_1 J_{П} \ddot{f}_0(t) + J_{П1} A_1^2 \ddot{f}_1(t) + J_{П1} A_1^2 p^2 f_1(t) = M_{Д} A_1 \\ A_2 J_{ПВ} \ddot{f}_0(t) + J_{ПВ} A_2^2 \ddot{f}_1(t) + J_{ПВ} A_2^2 p^2 f_1(t) = -M_{СВ} A_2 \\ \ddot{f}_0(t)(A_1 J_{П1} + A_2 J_{ПВ}) + \left[\ddot{f}_1(t) + p^2 f_1(t)\right]\left(J_{П1} A_1^2 + J_{ПВ} A_2^2\right) = M_{Д} A_1 - M_{СВ} A_2 \end{cases} \tag{10}$$

Перший доданок у лівій частині третього рівняння системи (10) дорівнює нулю внаслідок того, що $\left(A_1 J_{П1} + A_2 J_{ПВ}\right) = 0$. Тоді для другої ортогональної форми отримаємо таке диференціальне рівняння:

$$\ddot{f}_1(t) + p^2 f_1(t) = \frac{M_{Д} A_1 - M_{СВ} A_2}{J_{П1} A_1^2 + J_{ПВ} A_2^2}. \tag{11}$$

Проінтегруємо диференціальні рівняння (9) та (11):

$$\begin{cases} \dot{f}_0(t) = \dfrac{M_{Д} - M_{СВ}}{J_{П1} + J_{ПВ}} t + C_1 \\ f_0(t) = \dfrac{M_{Д} - M_{СВ}}{2(J_{П1} + J_{ПВ})} t^2 + C_1 t + C_2 \\ \dot{f}_1(t) = C_3 p \cos pt - C_4 p \sin pt \\ f_1(t) = C_3 \sin pt + C_4 \cos pt + \dfrac{M_{Д} A_1 - M_{СВ} A_2}{p^2\left(J_{П1} A_1^2 + J_{ПВ} A_2^2\right)} \end{cases} \tag{12}$$

Довільні постійні інтегрування у системі диференціальних рівнянь (12) визначимо з початкових умов: при $t = 0, f_0(t) = \dot{f}_0(t) = 0, f_1(t) = \dot{f}_1(t) = 0$. Тоді

$$C_1 = C_2 = C_3 = 0,\ C_4 = -\frac{M_{Д} A_1 - M_{СВ} A_2}{p^2\left(J_{П1} A_1^2 + J_{ПВ} A_2^2\right)}.$$

В результаті перетворень отримуємо:

$$\begin{cases} f_0(t) = \dfrac{M_{Д} - M_{СВ}}{2(J_{П1} + J_{ПВ})} t^2 \\ f_1(t) = \dfrac{M_{Д} A_1 - M_{СВ} A_2}{p^2\left(J_{П1} A_1^2 + J_{ПВ} A_2^2\right)}(1 - \cos pt) \end{cases} \tag{13}$$

Підставляємо отримані значення у систему диференціальних рівнянь (6):

$$\begin{cases} \varphi_1(t) = \dfrac{M_{Д} - M_{СВ}}{2(J_{П1} + J_{ПВ})} t^2 + \dfrac{A_1\left(M_{Д} A_1 - M_{СВ} A_2\right)}{p^2\left(J_{П1} A_1^2 + J_{ПВ} A_2^2\right)}(1 - \cos pt) \\ \varphi_2(t) = \dfrac{M_{Д} - M_{СВ}}{2(J_{П1} + J_{ПВ})} t^2 + \dfrac{A_2\left(M_{Д} A_1 - M_{СВ} A_2\right)}{p^2\left(J_{П1} A_1^2 + J_{ПВ} A_2^2\right)}(1 - \cos pt) \end{cases} \tag{14}$$

Для отримання реального значення кута повороту вальяна друге рівняння системи (14) необхідно подати у вигляді:

$$\varphi_B = -U_{B1}\left[\frac{M_Д - M_{СВ}}{2\left(J_{П1} + J_{ПВ}\right)} t^2 + \frac{A_2\left(M_Д A_1 - M_{СВ} A_2\right)}{p^2\left(J_{П1} A_1^2 + J_{ПВ} A_2^2\right)}(1 - \cos pt)\right], \tag{15}$$

$$M_{СВ} = U_{B1} P_\Sigma \cdot r_B,$$

де U_{B1} – передатне відношення між вальяном та шестернею;

P_Σ – сумарний результуючий натяг основи при відводі тканини;

r_B – радіус вальяна (приймаємо $r_B = 0{,}0565$ м).

Знак « – » у передатного відношення вказує на те, що поворот вальяна відбувається у напрямку, протилежному напрямку обертання тіла 1.

Довжину тканини, що відводиться за один цикл тканиноутворення з урахуванням виразів (15) можна визначити так:

$$S_в = U_{B1} \cdot r_B\left[\frac{M_{Д} - M_{СВ}}{2(J_{П1} + J_{ПВ})} t^2 + \frac{A_2\left(M_{Д} A_1 - M_{СВ} A_2\right)}{p^2\left(J_{П1} A_1^2 + J_{ПВ} A_2^2\right)}(1 - \cos pt)\right]. \tag{16}$$

На рис. 2 подано залежність кута повороту вальяна від часу. При розрахунках за виразами (15) та (16) приймались такі значення: $P = 1671\,H$, $c_1 = 1346{,}4\ \frac{H \cdot м}{рад}$, U_{B1}=0,143, $p = 871{,}18\ \ c^{-1}$.

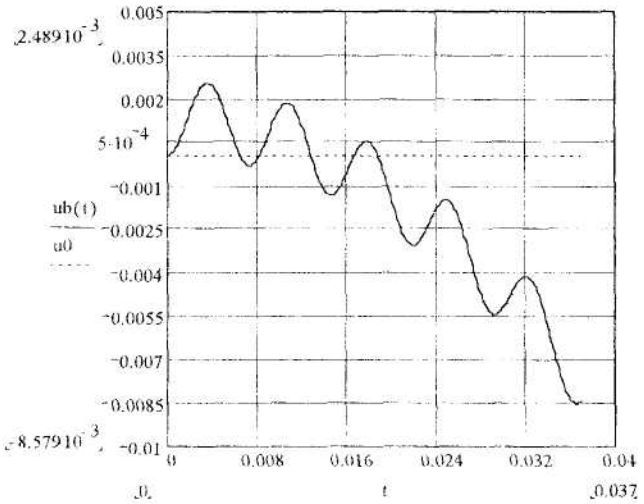

Рис. 2. Залежність кута повороту вальяна від часу

Таким чином, задача стабілізації натягу пружної системи заправки на ткацькому верстаті типу АТ зводиться до виконання таких умов:

$$\begin{cases} F\left[\,S(\,R,t\,)-S_в(\,R,t\,)\,\right]\to 0 \\ \dfrac{\partial F}{\partial R}\to 0 \\ \dfrac{\partial F}{\partial t}\to 0, \text{ при } R_{\min}\le R\le R_{\max},\ t_{1*}\le t\le t_{2*} \end{cases} \tag{17}$$

де S, S_B − довжина основи, що подається та довжина тканини, що відводиться відповідно,

R − поточний радіус навою;

R_{min}, R_{max} − мінімально та максимально можливі радіуси навою відповідно;

t_{1*}, t_{2*} − час початку та закінчення руху навою відповідно.

При виконанні (17) можливо забезпечити стабілізацію натягу пружної системи заправки ткацького верстата як у межах одного циклу тканиноутворення, так і при зміні радіуса навою.

ЛІТЕРАТУРА:

1. *Гордеев В.А., Волков П.В.* Ткачество. − М.: Легкая и пищевая промышленность, 1984. − С. 488.
2. *Власов П.В.* Нормализация процесса ткачества. − М.: Легкая и пищевая промышленность, 1982. − С. 296.
3. Основы теории, конструкция и расчет текстильных машин / К.Д. Буданов, А.А. Мартиросов, Э.А. Попов, А.А. Туваева. − М.: Машиностроение, 1975. − С. 390.

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

Наукові інтереси:

− машини легкої промисловості;

− контроль параметрів технологічних процесів.

Тел.: (044) 256-29-94 (сл.).

Подано 20.01.2003