УДК 677.021.164

# ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ДВИЖЕНИЯ СИСТЕМЫ МНОГОСВЯЗАННЫХ ЖГУТОВ ЛЬНОВОЛОКНА

*С.Ю. КАПУСТИН, В.Д. ФРОЛОВ, Ф.Р. КАХРАМАНОВ*

**(Ивановская государственная текстильная академия)**

Установлено, что при протекании технологического процесса на поточных линиях при переработке льноволокна возникают вынужденные колебания волокна [1]. В настоящей работе рассматривается система, состоящая из нескольких жгутов волокна на отверстиях устройства [2].

При этом расчет данной системы, состоящей из жгутов волокна, подразделяется на два основных этапа:

1) система, состоящая из жгутов волокна, разделяется на отдельные системы и определяются частоты и формы колебаний каждой системы в отдельности;

2) в плоскостях сечений связей, соединяющих системы жгутов волокна, прикладываются равные и противоположно направленные силы. Затем находятся выражения перемещений систем жгутов волокна от действия приложенных сил. Эти перемещения выражаются с помощью значений частот и форм; при этом учитывается условие равенства перемещений систем, в точках соединения связей составляются уравнения, с помощью которых определяются частоты и формы сложной системы жгутов волокна в целом.

Выражение перемещений упругой системы жгутов волокна, которая совершает установившиеся вынужденные колебания с частотой $\omega$, можно представить в виде суммы перемещений по формам колебаний системы жгутов волокна:

$$y_k = \sum_{i=1}^{n} y_{ik} = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{q} \frac{p_i^2 \delta_{ijk} R_{ijk}}{p_i^2 - \omega^2} \cos\omega t, \quad (1)$$

где $p_i$ – частота колебаний системы по $i$-й форме; $R_{ijk}$ – силы, приложенные к системе жгутов волокна; $\delta_{ijk}$ – перемещение системы жгутов волокна по соответствующей форме колебаний.

Для системы, совершающей поступательные горизонтальные перемещения (1):

$$\delta_{ijk} = \frac{X_{ij} X_{ik}}{p_i^2 \left( \sum_{j=1}^{n} X_{ij}^2 + \int_0^1 m(x) X_i^2(x)\, dx \right)} = \frac{X_{ij} X_{ik}}{p_i^2 U_i(x)}, \quad (2)$$

то же , совместно с крутильными перемещениями:

$$\delta_{ijk}=\frac{X_{ij}X_{ik}}{p_i^2\left[\sum_{j=1}^{n}\left(m_jX_{ij}^2+\theta_j\varphi_{ij}^2\right)+\int_0^1\left\{m(x)X_i^2(x)+\theta_j(x)\varphi_i^2(x)dx\right\}dx\right]}=\frac{X_{ij}X_{ik}}{p_i^2U_i(x,\varphi)}, \qquad (3)$$

$m_j, m(x)$ – сосредоточенные массы системы жгутов волокна; $X_{ij}, \varphi_{ij}, ..., X_{ik}$, $\varphi_{ik}, ..., X_i(x), \varphi_i(x)$ – ординаты поступательных и угловых перемещений по $i$-й форме колебаний жгутов волокна; $U_i(x), U_i(x,\varphi)$ – вторые сомножители в знаменателях выражений; $\theta_j, \theta(x)$ – моменты инерции сосредоточенных масс системы относительно центров тяжести.

При определении угловых перемещений системы и учете крутящих моментов в числитель выражения (3) подставляются соответствующие ординаты угловых деформаций .

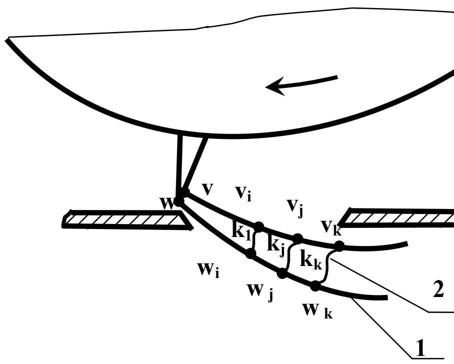

Рис. 1

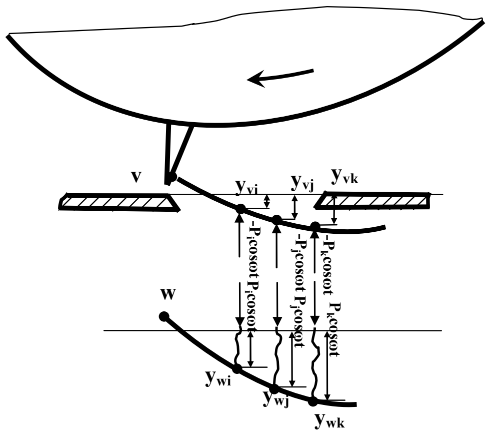

Рис. 2

Рассмотрим систему жгутов волокна, схема которого показана на рис.1, где 1 – жгут волокна, 2 – связи, соединяющие жгуты волокна. Это – сложная система составлена из систем жгутов волокна $\upsilon, w$, которые соединены друг с другом. Для определения частот и форм колебаний сложной системы жгутов волокна разрежем связи и приложим в плоскостях сечений равные и противоположно направленные силы, действующие по гармоническому закону с частотой $\omega$ (рис.2).

Эти силы равны упругим реакциям, возникающим при деформациях соответствующих связей, то есть:

$$-P_1\cos\omega t=k_1\left(y_{\upsilon 1}-y_{w1}\right), -P_2\cos\omega t=k_2\left(y_{\upsilon 2}-y_{w2}\right); \ldots,\ -P_j\cos\omega t=k_j\left(y_{\upsilon j}-y_{wj}\right), \qquad (4)$$

где $y_{\upsilon j}, y_{wj}$ – перемещения точек системы $\upsilon, w$, примыкающих к связям; $k_j$ – жесткости связей.

Выразив с помощью формулы (1) перемещения точек систем $\upsilon, w$, соединенных связями, получим систему из уравнений, где $h$ – строка уравнений записывается следующим образом:

$$\sum_{j=1}^{q}\left(\sum_{k=1}^{n}\frac{p_{\upsilon k}^2\delta_{khj}^{\upsilon}}{p_{\upsilon k}^2-\omega^2}+\sum_{r=1}^{m}\frac{p_{wr}^2\delta_{rhj}^{w}}{p_{wr}^2-\omega^2}\right)P_j+\frac{P_h}{k_n}=0, \qquad (5)$$

где $p_{\upsilon k}, p_{wr}$ – соответственно k-я и r-я частоты колебаний систем $\upsilon, w$; $\delta^{\upsilon}_{khj}, \delta^{w}_{rhj}$ – соответственно перемещение системы $\upsilon$ и перемещение системы $w$.

Решая систему уравнений (5), определяем частоты колебаний сложной системы жгутов волокна.

Подставляя затем $\omega_i$ и …, $P_{ikj}, \ldots$ в формулу (1), находим перемещения $y_{ijk}$ точек систем $\upsilon$ и $w$.

Таким же образом выполняется расчет сложных систем жгутов, составленных из более простых.

Причем, когда в системе наряду с поступательными необходимо учитывать и крутильные колебания, в точках разрезания связей прикладываются не только силы, но и соответствующие моменты, от действия которых с помощью формулы (3) наряду с поступательными учитываются и угловые перемещения (рис. 3).

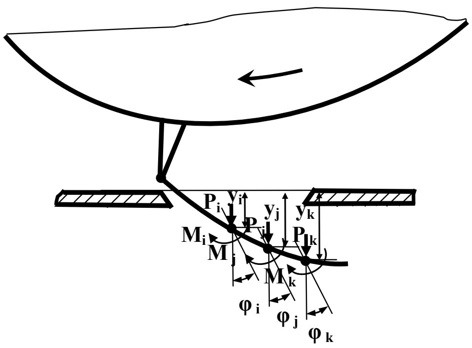


Рис. 3

Чтобы избежать ложных расчетов, влияние связей на колебания сложной системы жгутов волокна необходимо учитывать последовательно, то есть вначале рассчитать сложную систему с одной связью, затем, используя вычисленные при этом характеристики, наложить вторую связь и т. д. Таким образом, на каждом этапе расчета приходится решать лишь одно уравнение.

Формулы, необходимые для расчета, получаются из выражений (1) и (5).

Частоты колебаний системы, составленной из $\upsilon$ и $w$ систем, соединенных одной связью, находятся из уравнения

$$\sum_{r=1}^{n} \frac{p^2_{\upsilon r}\delta^{\upsilon}_{r2}}{p^2_{\upsilon r} - \omega^2_1} + \sum_{r=1}^{m} \frac{p^2_{wk}\delta^{w}_{k2}}{p^2_{wk} - \omega^2_1} + \frac{1}{k_1} = 0, \quad (6)$$

где $p_{\upsilon r}, p_{wk}$ – частоты системы $\upsilon$ и $w$ соответственно по формам $r$ и $k$; $\delta^{\upsilon}_{r2}, \delta^{w}_{k2}$ – перемещения по формам $r$ и $k$ систем $\upsilon$ и $w$; $n, m$ – количество степеней свободы.

Амплитуды по формам колебаний сложной системы с одной связью определяются по формулам:

$$X^{(1)}_{i\upsilon j} = \sum_{r=1}^{n} \frac{p^2_{\upsilon r}\delta^{\upsilon}_{r2}}{p^2_{\upsilon r} - \omega^2_1} \frac{X_{r\upsilon j}}{X_{r\upsilon 1}};$$
$$X^{(1)}_{iwh} = \sum_{r=1}^{m} \frac{p^2_{wk}\delta^{w}_{k2}}{p^2_{wk} - \omega^2_1} \frac{X_{kwh}}{X_{kw1}}, \quad (7)$$

где $X^{(1)}_{i\upsilon j}, X^{(1)}_{iwh}, \ldots$ – искомые амплитуды по $i$-й форме сложной системы; $X_{r\upsilon j}, X_{kwh}$ – амплитуды колебаний систем $\upsilon$ и $w$.

Пользуясь выражением (1), получим уравнение частот для сложной системы, составленной из систем $\upsilon$ и $w$, которые соединяют $h$ связей:

$$\sum_{i=1}^{n+m} \frac{\Delta_{ih-1}}{\omega^2_{h-1i} - \omega^2_h} + \frac{1}{k_h} = 0, \quad (8)$$

где $\omega_{h-1i}$ –частота колебаний по $i$-й форме системы; $k_h$ – жесткость связи $h$;

$$\Delta_{ih-1} = \frac{\left[X^{(h-1)}_{i\upsilon h} - X^{(h-1)}_{iwh}\right]^2}{U_{h-1i}(x)};$$

$X^{(h-1)}_{i\upsilon h}, X^{(h-1)}_{iwh}$ – амплитуды колебаний системы с $h-1$ связями по $i$-й форме.

Из уравнения (8) определяют собственные частоты системы с $h$ связями.

Амплитуды колебаний такой системы вычисляют по формуле:

$$X_{re}^{(h)} = \sum_{i=1}^{n+m} \frac{X_{i\upsilon h}^{(h-1)} - X_{iwh}^{(h-1)}}{U_{h-1i}(x_i)\left(\omega_{h-1i}^2 - \omega_{hr}^2\right)} X_{ie}^{(h-1)} . \quad (9)$$

Теперь рассмотрим определение частот и форм колебаний системы с "дополнительными" массами.

В случае если на жгут волокна действуют пылевые массы, их можно рассматривать как дополнительные и как внешнюю возмущающую нагрузку.

Рассмотрим систему с "дополнительными" массами (рис. 4). Инерционные силы при перемещении этих масс будут:

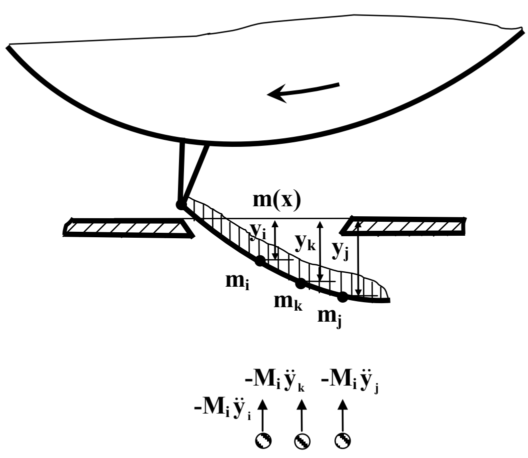


Рис. 4

$$\begin{aligned} R_1^u &= -M_1\ddot{y}_1 = \omega^2 M_1 y_1 \cos\omega t,\ R_2^u = -M_2\ddot{y}_2 = \omega^2 M_2 y_2 \cos\omega t\ldots, \\ R_j^u &= -M_j\ddot{y}_j = \omega^2 M_j y_j \cos\omega t, \end{aligned} \quad (10)$$

где $M_j$ – дополнительные массы; $y_j$ – амплитуды перемещений системы.

С помощью формулы (1) составим выражения для перемещений в точках присоединения масс от действия сил (10). В результате получим систему уравнений, $k$ - строка которой будет:

$$\sum_{j=1}^{q} M_j y_j \sum_{i=1}^{n} \frac{p_i^2 \delta_{ijk}}{p_i^2/\omega^2 - 1} - y_k = 0 . \quad (11).$$

Отсюда определяются частоты системы с дополнительными массами и соответствующие им амплитуды колебаний в точках присоединения масс.

Амплитуды системы жгутов волокна в разных точках находятся с помощью формулы

$$y_{re} = \sum_{j=1}^{q} M_j y_j \sum_{i=1}^{n} \frac{p_i^2 \delta_{ije}}{p_i^2/\omega^2 - 1} . \quad (12)$$

В выражениях (11) и (12) введены следующие обозначения: $\delta_{ijk} = X_{ij}X_{ih}/p_i^2\,U_i(x_j)$; $\delta_{ije} = X_{ij}X_{ie}/p_i^2\,U_i(x_j)$ – перемещение системы по $i$-й форме соответственно в точках $h$ и $e$; $p_j$ – $i$-я частота системы; $X_{ij}, X_{ih}, X_{ie}$ – амплитуды по $i$-й форме.

## ВЫВОДЫ

Разработанная методика дает возможность прогнозировать поведение многосвязных жгутов волокна на поточной линии, а также оптимально устанавливать устройства для очистки волокон.

### ЛИТЕРАТУРА


1. *Капустин С.Ю.* Усовершенствование технологий в процессе очистки длинноволокнистых материалов на лентоформирующей машине в составе поточной линии ПЛ-I-КЛ: Дис….канд. техн. наук. – Иваново, 1992.
2. А.с. №1477794 (СССР). Устройство для очистки текстильных волокон / Капустин С.Ю. и др.: – Опубл. 1989. Бюл. №17.



Рекомендована кафедрой механической технологии текстильных материалов. Поступила 08.10.07.