

АНАЛИЗ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МЕЖДУ ПОДВИЖНЫМ СКАЛОМ И УПРУГОЙ СИСТЕМОЙ ЗАПРАВКИ ТКАЦКОГО СТАНКА

О.А. САВВИН, С.Н. ТИТОВ

(Костромской государственной технологической университет)

На рис. 1 показано распределение заправки ткацкого станка по участкам и введено обозначение их размеров. Нити основы, сматываясь с навоя 1, огибают скало 2 и образуют зев (участок ABC). После точки С готовая ткань огибает грудницу 3 и наматывается на вальцы 4.

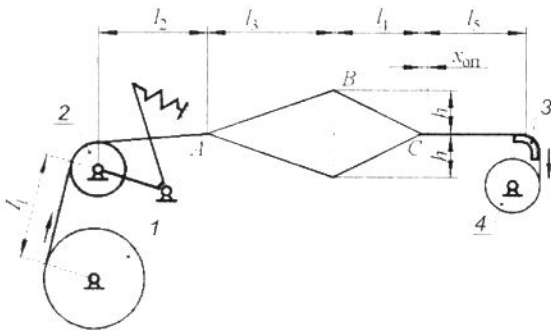


Рис. 1

Рассмотрим движение скала 1 и его рычага под действием меняющегося натяжения основы. Будем считать, что "свободному" концу верхней ветви, огибающей скало, задана деформация $\delta = \delta(t)$, являющаяся суммой деформаций от зевобразования, приобоя и навивания ткани на вальцы. Заметим, что помимо рассмотренной

деформации δ нити основы меняют свою деформацию за счет движения скала и его рычага и сматывания нитей с навоя.

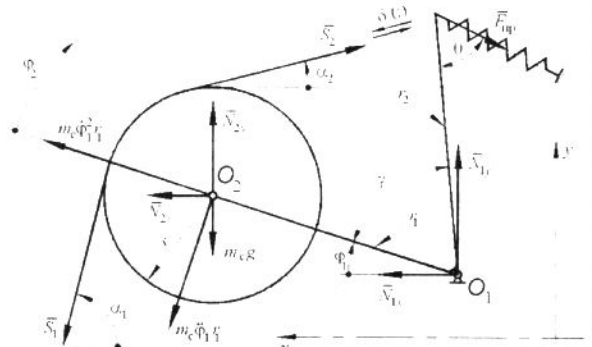


Рис. 2

Рычаг скала со скалом рассмотрим как систему с двумя степенями свободы (рис. 2). За обобщенные координаты примем φ_1 – угол поворота рычага скала и φ_2 – угол поворота скала относительно его рычага. Положительные направления углов показаны стрелками.

Применив уравнения Лагранжа второго рода, получим следующие дифференциальные уравнения:

$$J_{\text{пр}}\ddot{\varphi}_1 = (S_2 - S_1)r + r_1[S_2 \sin(\varphi_1 + \alpha_2) - S_1 \sin(\varphi_1 + \alpha_1)] - m_c g r_1 \cos \varphi_1 + F_{\text{пр}} r_2 \sin \theta - J_c \ddot{\varphi}_2 - r_{\text{тр}1} N_1 \text{sign} \dot{\varphi}_1, \quad (1)$$

$$J_c \ddot{\varphi}_2 = (S_2 - S_1)r - J_c \ddot{\varphi}_1 - r_{\text{тр}2} N_2 \text{sign} \dot{\varphi}_2, \quad (2)$$

$$\text{где } J_{\text{пр}} = J + J_c + m_c r_1^2. \quad (3)$$

Здесь J – приведенный к оси O_1 момент инерции рычажной системы скала (без скала), m_c и J_c – соответственно масса скала и его момент инерции относительно оси O_2 ; S_1 , S_2 и $F_{\text{пр}}$ – натяжения соответствующих ветвей основы и сила затяжки пружины; N_1 и N_2 – силы нормального давления в опорах O_1 и O_2 соответственно;

$r_{\text{тр}1}$ и $r_{\text{тр}2}$ – радиусы кругов трения в этих опорах.

Определим реакции в опорах O_1 и O_2 , используя метод кинестатики, то есть приложим к скалу нормальную и тангенциальную силы инерции и рассмотрим систему в равновесии. Поскольку массы звеньев рычажной системы скала малы по сравнению с массой самого скала, то их влиянием пренебрегаем.

Предварительно определим проекции реакций N_1 и N_2 на оси x и y (рис. 2). Тогда

$$N_{2x} = S_1 \cos \alpha_1 - S_2 \cos \alpha_2 + m_c \ddot{\varphi}_1 r_1 \sin \varphi_1 + m_c \dot{\varphi}_1^2 r_1 \cos \varphi_1, \quad (4)$$

$$N_{2y} = S_1 \sin \alpha_1 - S_2 \sin \alpha_2 + m_c g + m_c \ddot{\varphi}_1 r_1 \cos \varphi_1 - m_c \dot{\varphi}_1^2 r_1 \sin \varphi_1, \quad (5)$$

$$N_{1x} = N_{2x} - F_{\text{пр}} \cos(\varphi_1 + \gamma - \theta), \quad (6)$$

$$N_{1y} = N_{2y} + F_{\text{пр}} \sin(\varphi_1 + \gamma - \theta), \quad (7)$$

$$N_2 = \sqrt{N_{2x}^2 + N_{2y}^2}, \quad N_1 = \sqrt{N_{1x}^2 + N_{1y}^2}. \quad (8)$$

Теперь определим силу затяжки пружины $F_{\text{пр}}$. Начальную затяжку пружины F_H рассчитаем из условия равновесия системы

$$F_H = \frac{m_c g r_1 \varphi_H + r_1 [S_1 \sin(\varphi_H + \alpha_1) - S_2 \sin(\varphi_H + \alpha_2)]}{r_2 \sin \theta}. \quad (9)$$

В связи с тем, что при движении рычажной системы скала угол φ_1 меняется незначительно, можно считать, что текущее значение силы упругости пружины будет:

$$F_{\text{пр}} = F_H + k_{\text{пр}} (\varphi_1 - \varphi_H) r_2 \sin \theta, \quad (10)$$

где $k_{\text{пр}}$ – коэффициент жесткости пружины.

Всю систему заправки ткацкого станка представим двумя участками. Первый участок – до скала с натяжением S_1 , второй участок – после скала с натяжением S_2 . Коэффициент жесткости k_1 первого участка определяется длиной нитей между скалом и навоем и упругими свойствами самих нитей. Его будем считать постоянным.

Коэффициент жесткости k_2 второго участка определяется длиной и жесткостью основы и ткани между скалом и вальяном. Этот коэффициент жесткости является переменным, так как при прибое основа и ткань деформируются и изменяют свое натяжение независимо друг от друга. Во все остальные моменты они представляют единую систему.

При изменении обобщенных координат φ_1 и φ_2 меняются деформация и натяжение системы заправки станка. Изменение деформации участков 1 и 2 можно представить формулами [2]:

при $\varphi_1 = \varphi_H$, $S_1 = S_2$ и моменте трения в опоре O_1 , равном нулю. На основании (1) получим

$$\Delta \delta_1 = r_1 \sin(\varphi_1 + \alpha_1) \dot{\varphi}_1 \Delta t + r \Delta t (\dot{\varphi}_1 + \dot{\varphi}_2), \quad (11)$$

$$\Delta \delta_2 = -r_1 \sin(\varphi_1 + \alpha_2) \dot{\varphi}_1 \Delta t - r \Delta t (\dot{\varphi}_1 + \dot{\varphi}_2). \quad (12)$$

Символ Δ обозначает приращение какой-либо величины (в данном случае деформации участков 1 и 2 δ_1 и δ_2) за малый промежуток времени Δt .

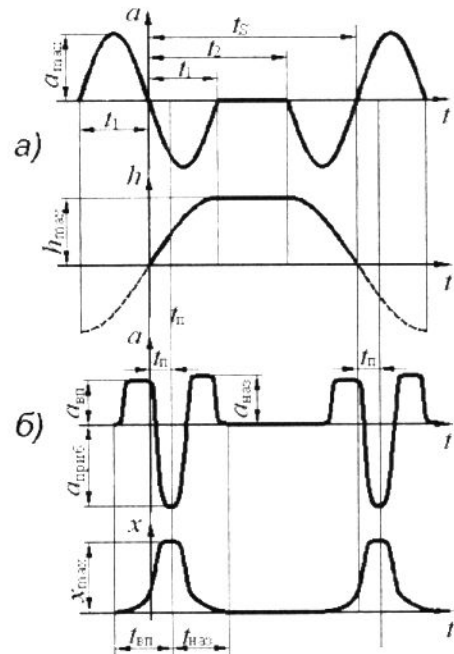


Рис. 3

Определим деформацию основы при зевобразовании, считая, что ускорение ремиз подчиняется закону синуса [1]. На

рис. 3 представлены кинематические диаграммы законов движения ремиз (а) и батана (б). Полагая зев симметричным и принимая положение заступа (рис. 3-а) за начало отсчета, получим следующие зависимости для высоты раскрытия зева h от времени t :

$$h = \frac{h_{\max}}{t_1} t + \frac{h_{\max}}{\pi} \sin \frac{\pi t}{t_1} \quad \text{при } 0 \leq t \leq t_1, \quad (13)$$

$$h = h_{\max} \quad \text{при } t_1 < t \leq t_2, \quad (14)$$

$$h = \frac{h_{\max}}{t_s - t_2} \left(1 - \frac{t - t_2}{t_s - t_2} \right) + \frac{h_{\max}}{\pi} \sin \frac{\pi(t - t_2)}{t_s - t_2} \quad \text{при } t_2 < t \leq t_s. \quad (15)$$

Величина деформации основы при зевообразовании по участкам (рис. 1):

$$\delta_3 = \sqrt{\ell_3^2 + h^2} - \ell_3, \delta_4 = \sqrt{\ell_4^2 + h^2} - \ell_4. \quad (16)$$

Далее определим деформацию основы при прибое, полагая, что она определяется законом движения батана (рис. 3-б) после контакта берда с опушкой ткани. Для современных кулачковых батанных меха-

$$x = \frac{x_{\max}}{2\pi^2 + 3\pi + 7} \left\{ 2\pi^2 + 3 + (3\pi + 4) \sin \left[\frac{2\pi}{t_{\text{вп}}} \left(t - \frac{3}{4} t_{\text{вп}} \right) \right] \right\}, \quad (17)$$

где x_{\max} – ход батана; $t_{\text{вп}}$ – время его движения из заднего положения в переднее.

Необходимо отметить, что перемещение батана за время его торможения составляет $\frac{3\pi + 4}{2\pi^2 + 3\pi + 7} x_{\max} \approx 0,3712 x_{\max}$, что значительно превышает величину прибойной полоски. Вследствие этого характер движения батана на фазе разгона для нашего анализа значения не имеет.

При отходе батана назад характер его движения отличается лишь величиной замедления $a_{\text{наз}}$ и длительностью торможения перед задним положением, тогда как около опушки ткани закон движения батана остается неизменным. Значит, мы можем распространить (17) на интервал $\frac{3}{4} t_{\text{вп}} \leq t \leq \frac{5}{4} t_{\text{вп}}$.

Пусть ширина опушки ткани равна $x_{\text{оп}}$. Прибой начнется в момент контакта очередной уточины с опушкой ткани при положении берда

низмов характерны достаточно сложные безударные законы движения с синусоидальной составляющей изменения ускорения вблизи переднего положения [3].

Полагая для инерционного прибора при ходе батана вперед отношение времени разгона к времени торможения 4/1, получаем следующую зависимость перемещения батана x от времени t для $t \geq \frac{3}{4} t_{\text{вп}}$:

$$x \geq x_{\max} - x_{\text{вп}} - \frac{1 + a_0}{P_y}, \quad (18)$$

где P_y – плотность ткани по утку; a_0 – уработка основы.

Далее деформация основы при прибое $\delta_{\text{п}}$ будет определяться движением батана:

$$\delta_{\text{п}} = x_{\text{оп}} + \frac{1 + a_0}{P_y} - x_{\max} + x. \quad (19)$$

Когда батан отходит назад, при

$$x \leq x_{\max} - x_{\text{оп}} - \frac{1 + a_0}{P_y}, \quad (20)$$

бердо отрывается от опушки ткани и процесс деформации основы от прибора завершается.

Отвод ткани вальеюном и ее навивание происходят под действием товарного регулятора, приводимого от главного вала станка.

Для случая отвода ткани с постоянной скоростью длина основы, зарабатываемой в отводимую ткань:

$$\delta_{\text{тк}} = \frac{(1 + a_o)t}{P_y t_s}, \quad (21)$$

где t_s – время одного оборота главного вала.

$$\delta_{\text{осн}} = \frac{1 + a_o}{2P_y} \left[1 - \cos \frac{\pi(t - t_{\text{но}})}{t_{\text{оо}}} \right] \quad \text{при } t_{\text{но}} \leq t \leq t_{\text{но}} + t_{\text{оо}}, \quad (22)$$

где $t_{\text{но}}$ и $t_{\text{оо}}$ – время начала отпуска основы, отсчитываемое от момента заступа, и длительность отпуска.

Определим теперь связь между натяжениями ветвей основы S_1 и S_2 и деформацией системы заправки, полагая изменение параметров системы на малых промежутках времени Δt пренебрежимо малым, что позволяет считать движение скала и его рычага равнопеременным.

В этом случае

$$S_1 = S_{1_0} + k_1 \Delta \delta_1 \quad \text{и} \quad S_2 = S_{2_0} + k_2 \Delta \delta_2, \quad (23)$$

где S_{1_0} и S_{2_0} – натяжения участков 1 и 2 основы в начале интервала Δt ; $\Delta \delta_1$ и $\Delta \delta_2$ – суммарные приращения деформаций этих участков под действием рабочих органов станка за время Δt .

$$\delta = \delta_1 + \delta_2 = \frac{S_1}{k_1} + \frac{S_2}{k_2} = S_2 \left(\frac{1}{k_1 e^{\pm f \alpha}} + \frac{1}{k_2} \right) = \frac{S_2}{k_{\text{п}}}, \quad (25)$$

где $k_{\text{п}}$ – приведенный коэффициент жесткости упругой системы заправки.

В этом случае натяжение

$$S_2 = k_i (\delta_1 + \delta_2), \quad (26)$$

где знаки в показателях степени при вычислении приведенного коэффициента жесткости основы (25) и в границах критерия отсутствия скольжения (24) должны совпадать.

Отпуск основы с навоя определяется или динамикой навоя (на станках с основными тормозами), или законом движения механизма, осуществляющего отпуск основы. Положим, что отпуск основы с навоя $\delta_{\text{осн}}$, осуществляемый за каждый оборот главного вала, подчиняется гармоническому закону:

При этом может возникнуть скольжение нитей основы относительно скала. Обозначая коэффициент трения нитей основы по скалу через f , а угол охвата ими скала через α , запишем условие отсутствия скольжения:

$$S_1 e^{-f \alpha} < S_2 < S_1 e^{f \alpha}. \quad (24)$$

При скольжении происходит перераспределение деформаций ветвей 1 и 2 основы, продолжающееся до момента, когда условие (24) вновь начинает соблюдаться. Очевидно, что в процессе скольжения суммарная деформация основы остается неизменной и равной сумме деформаций ее ветвей:

Уравнения (1) и (2) с учетом изложенного были решены при следующих исходных данных [4]: $h_{\text{max}}=0,05$ м; $l_3=0,3$ м; $l_4=0,22$ м; $x_{\text{max}}=0,076$ м; $x_{\text{оп}}=0,0015$ м; $P_y=1100$ нитей/м; $a_o=0,1$; $r_1=0,175$ м; $r_2=0,304$ м; $r=0,0625$ м; $\alpha_1=\pi/2$; $\gamma=60^\circ$; $\theta=60^\circ$; $\alpha_2=5^\circ$; $\alpha=\pi/2$; $f=0,25$; $J_c=0,134$ кгм²; $J_{\text{пр}}=2$ кгм²; $m_c=58,6$ кг; $r_{\text{тр}1}=0,0025$ м; $r_{\text{тр}2}=0,0025$ м; $k_{\text{пр}}=50000$ Н/м; $k_1=250000$ Н/м; $k_2=100000$ Н/м при отсутствии прибоя и $k_2=190000$ Н/м во время

прибоя; $t_s=0,2$ с; $t_n=0,0111$ с; $t_{вп}=0,02778$ с; $t_{наз}=0,03556$ с; $t_1=t_s/3$; $t_2=2t_s/3$.

Решение выполняли численными методами при начальных условиях:

$$S_1 = S_2 = 1000 \text{ Н}; \quad \varphi_n = 7^\circ; \quad \dot{\varphi}_1 = 0; \\ \ddot{\varphi}_1 = 0; \quad \varphi_2 = 0; \quad \dot{\varphi}_2 = 0; \quad \ddot{\varphi}_2 = 0.$$

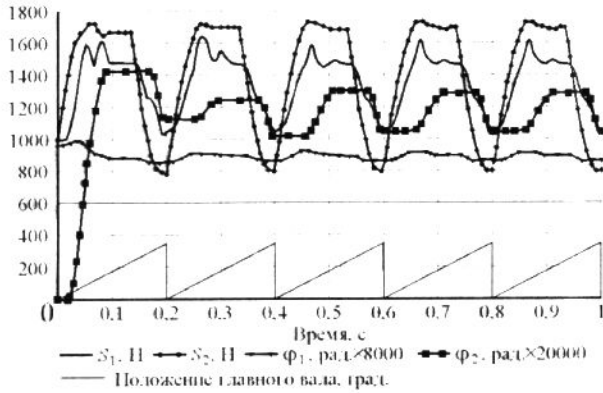


Рис. 4

Результаты расчета представлены на рис. 4 в виде зависимостей натяжений S_1 и S_2 основы и углов поворота рычага скала φ_1 и скала φ_2 от времени, отсчитываемого с момента пуска станка из положения заступа, для первых пяти оборотов главного вала.

Из графиков видно, что процессы изменения натяжения основы и движения скала стабилизируются начиная с четвертого оборота главного вала, что совпадает с технологическими данными [5] о стабилизации структуры ткани около четвертой после прибоя уточной нити и свидетельствует об адекватности разработанной модели реальному процессу.

Кроме того, оказалось, что деформация основы за счет вращения скала примерно равна деформации за счет его поступа-

тельного движения и должна учитываться.

ВЫВОДЫ

1. Результаты математического моделирования взаимодействия качающегося скала с упругой системой заправки ткацкого станка в достаточной мере совпадают с экспериментальными данными о натяжении упругой системы заправки, что свидетельствует об адекватности модели реальному процессу.

2. При формировании ткани имеют место переходные процессы, завершающиеся (для нашего частного случая) на четвертом, с момента пуска станка, обороте главного вала.

3. Перераспределение деформаций ветвей основы в зоне скала происходит, главным образом, за счет трения нитей основы по поверхности скала.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гордеев В. А. Динамика механизмов отпуска и натяжения основы. – М.: Легкая индустрия, 1965.
2. Саввин О. А. // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1989, № 1. С. 50...53.
3. Орнатская В. А., Кивилис С. С. Проектирование и модернизация ткацких машин. — М.: Легпромбытиздат, 1986.
4. Льюткачество: Справочник. – 3-е изд., перераб. и доп. / Под ред. Р. Д. Дружининой. — М.: Легпромбытиздат, 1985.
5. Гордеев В. А., Волков П. В. Ткачество: Учебник для вузов. – 4-е изд., перераб и доп. — М.: Легкая и пищевая промышленность, 1984.

Рекомендована кафедрой теории механизмов и машин и проектирования текстильных машин. Поступила 30.09.04