

УДК 677.057-8

ИССЛЕДОВАНИЕ НАТЯЖЕНИЯ ТКАНИ В ЗОНЕ ДВУХВАЛЬНОЙ ТРАНСПОРТИРУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ

В. С. САМСОНОВ

(Московская государственная текстильная академия им. А. Н. Косыгина)

В настоящее время широко применяются регулируемые приводы транспортирующих органов двух типов: с регулированием по моменту и по скорости. В первом случае управление натяжением ткани осуществляется путем изменения движущего момента на транспортирующих органах [1]. А во втором, например, в ворсовальных, стригальных и других машинах, натяжение ткани создается за счет разности окружных скоростей транспортирующих валов.

Поскольку натяжение ткани в значительной степени определяет качество ворсования, стрижки и эффективность работы оборудования, при проектировании и эксплуатации транспортирующих систем второго типа возникает задача установления зависимости между натяжением ткани, ее параметрами и скоростями транспортирующих органов.

Рассмотрим движение ткани в зоне 1—2 (рис. 1), образованной двумя тканетранспортирующими валами, оснащенными приводом второго типа. Уравнение баланса массы ткани в этой зоне имеет вид

$$(dm_{1-2}/dt) + v_2 B_2 q_2 - v_1 B_1 q_1 = 0, \quad (1)$$

где m_{1-2} — масса ткани в зоне;

v, B, q — соответственно скорость, ширина и поверхностная плотность ткани на рассматриваемых участках.

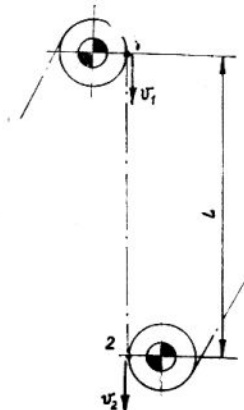


Рис. 1.

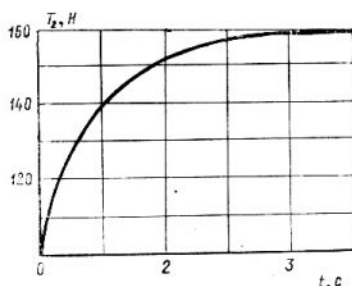


Рис. 2.

Представим ткань двумерным упругим телом, ширина и длина которого значительно больше толщины, принимаемой за постоянную. Под действием продольного натяжения T происходит растяжение ткани с относительным удлинением ϵ_x , а в поперечном направлении — уменьшение ширины при $\epsilon_y = -\mu\epsilon_x$, где μ — коэффициент поперечной деформации полотна. Влиянием силы тяжести полотна на величину его продольного натяжения пренебрегаем ввиду малости.

Изменение продольных и поперечных размеров ткани влияет на ее площадь

$$S_i(t) = L_i(t)B_i(t) = L_0(1 + \epsilon_x(t))B_0(1 - \mu\epsilon_x(t)) = S_0(1 + \epsilon_x(t)(1 - \mu))$$

и поверхностную плотность

$$q_i(t) = m_0/S_i(t) = q_0/(1 + \epsilon_x(t)(1 - \mu)).$$

В этих выражениях малыми величинами второго порядка пренебрегаем.

Масса ткани в исследуемой зоне

$$m_{1-2}(t) = q_2(t)L_2(t)B_2(t) = q_0L_2B_0(1 - \mu\epsilon_{2x}(t))/(1 + \epsilon_{2x}(t)(1 - \mu)),$$

где B_0 , q_0 — ширина и поверхностная плотность недеформированной ткани массой m_0 .

В целях краткости записи x и (t) далее опускаем. Тогда уравнение баланса массы ткани (1) примет вид

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{q_0 B_0 (1 - \mu \epsilon_2) L_2}{1 + \epsilon_2 (1 - \mu)} \right) + \frac{v_2 B_0 (1 - \mu \epsilon_2) q_0}{1 + \epsilon_2 (1 - \mu)} - \frac{v_1 B_0 (1 - \mu \epsilon_1) q_0}{1 + \epsilon_1 (1 - \mu)} = 0$$

или

$$\frac{L_2}{v_2} - \frac{L_2 b \epsilon_2}{v_2 (1 - b \epsilon_2)} - \frac{L_2 a \epsilon_2}{v_2 (1 + a \epsilon_2)} + 1 - \frac{v_1}{v_2} \frac{(1 - b \epsilon_1) (1 + a \epsilon_2)}{(1 + a \epsilon_1) (1 - b \epsilon_2)} = 0, \quad (2)$$

где $1 - \mu = a$, $\mu = b$, $a + b = 1$;

ϵ_1 , ϵ_2 — относительная продольная деформация ткани в указанных участках.

Поскольку ε_1 и ε_2 малы в сравнении с единицей, (2) упрощается за счет пренебрежения членами, содержащими квадраты или произведения деформаций.

Представляя $L_2(t) = L \pm e(t)$, где L — расстояние между валами, $e(t)$ — перемещение валов, получаем

$$\dot{e}/v_2 - [(L \pm e)/v_2] \varepsilon_2 (1 - a\varepsilon_2 + b\varepsilon_2) + 1 - (v_1/v_2) (1 - \varepsilon_1 + \varepsilon_2) = 0.$$

Если опоры валов неподвижны, то $\dot{e} = 0$. Принимая $\varepsilon = T/BE_b$, где E_b — модуль упругости ткани, приведенный к ее ширине, а T — натяжение ткани, имеем

$$\frac{L}{v_1(1+2\mu\varepsilon_2)} \frac{dT_2}{dt} = \frac{(v_2 - v_1)B_0E_b}{v_1} + \frac{T_1}{1+\mu\varepsilon_1} - \frac{T_2}{1+\mu\varepsilon_2}, \quad (3)$$

где T_1 и T_2 — натяжение ткани на входе и выходе зоны 1 — 2.

В (3) v_1 , v_2 , T_1 и ε_1 являются функциями времени, а ε_2 — функцией натяжения T_2 , поэтому

$$f_1(T_2) (dT_2/dt) = W(t) - f_2(T_2).$$

Аналитическое решение уравнения в таком общем виде не представляется возможным, поэтому применим численные методы. Если в (3) пренебречь изменением ширины ткани, то уравнение запишется в виде

$$(L/v_1) dT_2/dt = [(v_2 - v_1)B_0E_b/v_1] + T_1 - T_2. \quad (4)$$

Полагая, что упругое проскальзывание ткани относительно валов отсутствует, v_1 и v_2 будут соответствовать их окружным скоростям. При условии, что скорости транспортирующих валов v_1 , v_2 и натяжение T_1 являются заданными функциями времени, (4) преобразуется в линейное дифференциальное уравнение

$$dT_2/dt + (v_1(t)/L)T_2 = W(t)/L, \quad (5)$$

где $W(t) = (v_2(t) - v_1(t))B_0E_b + v_1(t)T_1(t)$.

Решение (5) получаем в виде

$$T_2(t) = \exp(-R(t)) (C_1 + 1/L \int W(t) \exp(R(t) dt)), \quad (6)$$

где $R(t) = \int (v_1/L) dt$.

Для наиболее характерного случая — установившегося режима работы, когда v_1 , v_2 и T_1 постоянны, имеем

$$R(t) = \int (v_1/L) dt = (v_1/L)t,$$

$$T_2(t) = C_1 \exp(-v_1 t/L) + W/v_1,$$

где при $t=0$ $C_1 = T_2 - W/v_1$.

Следовательно,

$$T_2(t) = (T_{2(t=0)} - W/v_1) \exp(-v_1 t/L) + W/v_1. \quad (7)$$

В установившемся режиме работы при $t \rightarrow \infty$ натяжение на втором участке

$$T_2(t) \rightarrow (T_1 + [(v_2 - v_1)/v_1] B_0 E_b). \quad (8)$$

Результаты расчетов согласно (8) для $T_1=100$ Н и $B_0=1$ м при различных значениях опережения скорости второго вала $\Delta v = (v_2 - v_1)/v_1$ приведены в табл. 1. Как видно, в установившемся режиме работы T_2 не зависит от v_1 , а жесткость ткани на растяжение $B_0 E_b$ и опережение скорости Δv существенно влияют на T_2 .

Таблица 1

$E_b \cdot 10^3, \text{ Н/м}$	Натяжение T_2 при опережении Δv				
	$v_1, \text{ м/с}$	1,01	1,02	1,04	1,06
2/1,0		120	140	180	220
3/1,0		130	160	220	280
4/1,0		140	180	260	340
3/0,5		130	160	220	280

По причине весьма существенного влияния Δv на T_2 реальный диапазон изменения разности скоростей ткани не должен превышать $(0,01 \dots 0,02) v_1$, что подтверждено экспериментальными исследованиями. Скорость ткани вследствие проскальзывания отличается от скорости транспортирующего вала. Учитывая трудности определения проскальзывания ткани на транспортирующих валах и сложность оценки $B_0 E_b$, заключаем, что рассматриваемая система не обеспечивает достаточно точно и надежного управления натяжением ткани путем регулирования Δv .

Динамика $T_2(t)$ в переходном режиме приведена на рис. 2. Расчеты выполнены согласно (7) для $v_1=1,0$ м/с, $v_2=1,02$ м/с, $B_0=1$ м, $L=1$ м, $T_1=100$ Н и $E_b=3 \cdot 10^3$ Н/м. Из анализа зависимости (7) следует, что скорость изменения $T_2(t)$ повышается с увеличением v_1 , Δv и жесткости ткани на растяжение $B_0 E_b$ и с уменьшением L , достигая $0,9 T_{2(t=\infty)}$ за время около $1,0 \dots 1,3$ с.

Рассмотрим случай, когда v_1 и v_2 постоянны, а натяжение T_1 на входе изменяется, например, по гармоническому закону, то есть

$$T_1(t) = T_{1(t=0)} + \Delta T_1 \sin \omega t.$$

Тогда

$$W(t) = (v_2 - v_1) B_0 E_b + v_1 T_{1(t=0)} + v_1 \Delta T_1 \sin \omega t.$$

Подставляя эти выражения в (7), получаем уравнение

$$T_2(t) = \left(T_{2(t=0)} - T_{1(t=0)} - \frac{v_2 - v_1}{v_1} B_0 E_b + \frac{v_1 \Delta T_1 \omega L}{v_1^2 + \omega^2 L^2} \right) \exp\left(-\frac{v_1 t}{L}\right) + \left(\frac{v_2 - v_1}{v_1} B_0 E_b + T_{1(t=0)} + v_1 \Delta T_1 \times \right. \\ \left. \times \frac{v_1 \sin \omega t - L \omega \cos \omega t}{v_1^2 + \omega^2 L^2} \right), \quad (9)$$

которое отличается от (6) членами, содержащими ΔT_1 . Анализ (9) показывает, что при гармоническом колебании входного натяжения с амплитудой ΔT_1 выходное натяжение T_2 может изменяться на $1,3 \Delta T_1$.

ВЫВОДЫ

1. Получена зависимость для расчета натяжения ткани в установившемся и переходном режимах работы двухвальной транспортирующей системы с регулированием натяжения изменением скоростей валов.

2. В установившемся режиме работы натяжение ткани на выходе из зоны транспортирующих валов определяется натяжением на входе, существенно зависит от разности скоростей ткани на выходе и входе в зону, а также от жесткости ткани на растяжение и не зависит от уровня скоростей.

3. В переходном режиме при изменении скорости ткани на выходе темп изменения натяжения здесь больше при высоких скоростях и будет увеличиваться с повышением разности скоростей транспортирующих валов, жесткости тканей на растяжение и с уменьшением длины ткани между валами.

4. Натяжение ткани значительно меняется даже при малом изменении разности скоростей порядка $(0,01...0,02)v$ и существенно зависит от жесткости полотна на растяжение. Рассматриваемая система не обеспечивает достаточно точного и надежного управления натяжением ткани путем регулирования разности скоростей транспортирующих валов. Несмотря на большую сложность конструкции, системы с регулированием по моменту более предпочтительны.

ЛИТЕРАТУРА

1. Самсонов В. С. // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. — 1994, № 1.

Рекомендована кафедрой проектирования машин для производства химических волокон и красильно-отделочного оборудования. Поступила 03.02.97.
