

ВЗАИМОСВЯЗЬ МЕЖДУ НАТЯЖЕНИЕМ И ДЕФОРМАЦИЕЙ ТЕКСТИЛЬНОГО МАТЕРИАЛА ПРИ ПЕРЕМЕННОМ КОЭФФИЦИЕНТЕ ЖЕСТКОСТИ

О.А. САВВИН, Т.В. ФОКИНА, Т.П. КАЛИНИНА, С.Н. ТИТОВ

(Костромской государственной технологической университет)

Как показывают исследования [1, стр. 36...66], коэффициент жесткости нитей основы и ткани является величиной переменной, зависящей от их натяжения, поэтому при деформациях, имеющих место при работе ткацкого станка, зависимость между S – натяжением участка системы заправки и δ – его деформацией – нелинейна, что вызывает сложности при определении связи между натяжением и деформацией. Покажем, как избежать этого неудобства.

Введем понятие эквивалентной деформации. Под δ_3 – эквивалентной деформацией участка системы заправки – понимаем его деформацию, которую вызывает действующая на него сила натяжения при постоянном коэффициенте жесткости, равном его значению в рассматриваемый момент.

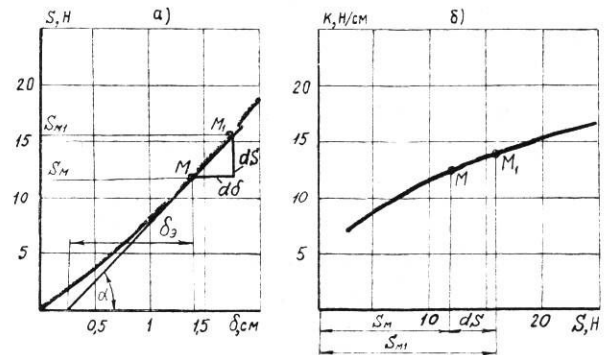


Рис. 1

Возьмем полоску из нитей основы и расположим ее вертикально. Закрепим у нее один конец неподвижно, а к другому концу будем подвешивать грузы различной величины и измерять получаемую при этом деформацию. На основании полученных данных построим график зависимости ее натяжения S от деформации δ (рис 1-а).

Тангенс угла наклона касательной в точке М к этому графику численно равен K – коэффициенту жесткости в этой точке при натяжении нити, равно S_M :

$$\operatorname{tg} \alpha = K = dS/d\delta = S_M/\delta_3. \quad (1)$$

Проводя касательные к графику $S=S(\delta)$ при различных значениях натяжения S и измеряя их тангенсы углов наклона, можно построить зависимость $K=K(S)$ (рис. 1-б).

При элементарном приращении деформации нити на величину $d\delta$ точка М (рис.1-а) перейдет в положение M_1 и приращение натяжения будет:

$$dS = Kd\delta, \quad (2)$$

где K – коэффициент жесткости в точке М.

Значение натяжения в положении M_1 : $S_{M1} = S_M + dS = K(\delta_3 + d\delta)$, то есть вычислится точно так же, как при постоянном коэффициенте жесткости.

В положении M_1 коэффициент жесткости уже изменится и будет $K_1 = K_1(S_{M1})$ (рис.1-б). Зная значение коэффициента жесткости и натяжение в точке M_1 , найдем новое значение эквивалентной деформации в этой точке. Рассуждая так же, как при рассмотрении поведения нити вблизи точки М, рассмотрим ее поведение в точке M_1 .

Осуществляя подобные действия в нескольких последовательных точках, можем описать поведение нити на конечном участке.

Таким образом, введение понятия эквивалентной деформации позволяет описать связь между натяжением и деформацией нити теми же формулами, что и в случае постоянного коэффициента жесткости.

Предложенный нами способ очень удобен при описании поведения системы с помощью ЭВМ. Особенно заметно преимущество предложенного метода, когда необходимо рассматривать не величину приращения деформации, а ее полное значение в рассматриваемый момент. В частности, такая необходимость возникает при скольжении нитей относительно каких-либо направляющих.

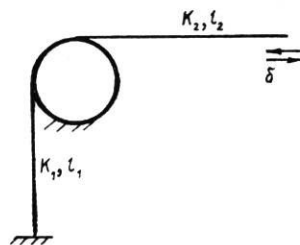


Рис. 2

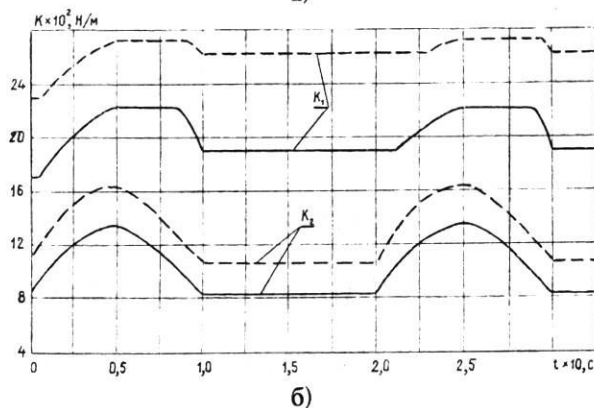
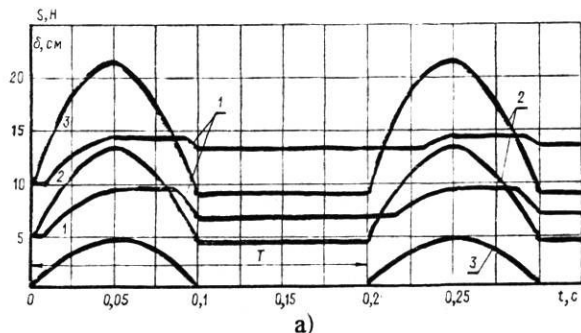


Рис. 3

Покажем это на конкретном примере. Рассмотрим метровую полоску из 10 нитей основы, огибающих неподвижное скало (рис. 2). Пусть нижняя ветвь основы закреплена, а свободному концу верхней ветви задано движение с периодом T , которое происходит в течение первого полу-периода по закону $\delta = \delta_{\max} \sin(2\pi t/T)$ (кривая 3 на рис.3-а). Будем считать, что в начальный момент времени, когда $t=0$ и $\delta=0$, обе ветви имеют одинаковое начальное натяжение: $S_1 = S_2 = 5\text{H}$.

Введем обозначения: S_1 , K_1 , l_1 и S_2 , K_2 , l_2 – натяжение, коэффициент жесткости и длина нижней и верхней ветви соответственно; K – коэффициент жесткости метрового отрезка основы; α и f – угол охвата скала нитями основы и коэффициент их трения по его поверхности.

При рассмотрении поведения данной

системы будем пренебрегать изменением ее деформации за счет нитей, расположенных на скало, то есть считаем участок нитей на скало абсолютно жестким. При этом нити основы или неподвижны относительно скала, или все скользят относительно него в одном направлении.

Будем считать, что

$$K=2500-2000\exp(-0,04S), \text{ Н/м.} \quad (3)$$

Эта формула получена в результате обработки данных эксперимента для хлопчатобумажной пряжи N40 (25 текс), приведенных в [1, стр.52, рис.31].

Максимальное отклонение коэффициента жесткости, вычисленное по аналитической зависимости (3), отличается от данных эксперимента менее чем на 7%, что меньше диапазона разброса результатов опытов.

Тогда

$$K_1=K/L_1, \quad K_2=K/L_2, \quad (4)$$

где L_1 и L_2 – безразмерные величины, численно равные ℓ_1 и ℓ_2 , м.

Введем обозначение

$$A=\exp(f\alpha). \quad (5)$$

Если сила натяжения одной из ветвей будет достаточна для преодоления сил трения по скалу, то есть, если

$$S_2 > S_1 A \quad \text{или} \quad S_1 > S_2 A, \quad (6)$$

то нити будут скользить относительно скала. Величина этого проскальзывания на основании формулы, предложенной Е.Д.Ефремовым [2]:

$$dS_2=K_2(d\delta - dx) \quad \text{или} \quad dS_1=K_1dx, \quad (7)$$

где dx – величина элементарного перемещения нитей по поверхности цилиндра.

Если условие (6) не соблюдается, то натяжение S_1 остается неизменным, а меняется только S_2 . Поведение нитей рассматривалось в течение малого промежутка времени Δt , за который натяжение нитей,

их деформация и коэффициент жесткости меняются незначительно и их можно считать постоянными.

Для обозначения величин к началу этого промежутка был введен дополнительный индекс 0. Например, S_{01} – значение натяжения S_1 к началу промежутка Δt . Значения величин к концу рассматриваемого промежутка времени являются начальными для следующего и так далее. Таким образом, рассматривалось поведение системы за конечный промежуток времени.

Для анализа поведения рассматриваемой полоски была разработана программа для ЭВМ. Результаты вычислений для частного случая при $A=1,5$; $\delta_{\max}=0,01\text{м}$; $T=0,2\text{с}$; $\ell_1=0,5\text{м}$; $\ell_2=1\text{м}$ представлены в виде графиков на рис. 3-а, откуда видно, что график изменения натяжения S_2 (кривая 2) внешне почти не отличается от δ – характера изменения деформации свободного конца.

В рассматриваемом случае оказалось, что размах изменения S_1 (кривая 1) почти в три раза меньше размаха изменения S_2 . При этом начало изменения S_1 запаздывает по сравнению с началом изменения S_2 . Достигнув максимума, натяжение S_1 некоторое время не меняется (горизонтальный участок на графике), затем начинает падать. Прекращение деформации обеих ветвей происходит одновременно.

Что касается x – величины перемещения нитей относительно скала, то в течение первого периода перемещение в направлении S_2 больше, чем в направлении S_1 . В дальнейшие периоды перемещения в обоих направлениях примерно одинаковы. Разница этих перемещений не превышает 1%.

Такое отклонение можно объяснить погрешностью при расчетах на ЭВМ. Следует отметить, что характер изменения S_1 и S_2 в значительной степени зависит от S_0 – величины предварительного натяжения ветвей. При повышении S_0 увеличивается в начальный период деформации величина запаздывания изменения S_1 по сравнению с S_2 .

Существенно увеличивается время "выстоя" при достижении S_1 максимума. Так,

при $S_0=5H$ для рассматриваемого случая оно составляет около 0,02с; при $S_0=8H$ – примерно 0,045 с, а при $S_0=10H$ – уже 0,054 с, то есть более половины времени изменения δ . При этом абсолютная величина размаха натяжения S_1 ($S_{\max} - S_{\min}$) имеет тенденцию к уменьшению, несмотря на то, что среднее значение коэффициента жесткости нитей возрастает.

Для S_2 наблюдается обратная картина. С увеличением S_0 уменьшается также величина x – перемещение нитей относительно цилиндра. Так, для нашего частного случая при $S_0=15H$ наблюдается скольжение нитей только в направлении S_2 и только во время первого периода. В течение остальных периодов на скало имеется дуга или точка покоя, на которой нити основы неподвижны относительно него. При $S_0 = 46 H$ на скало имеется дуга покоя уже во время первого периода.

В нашем частном случае за один период коэффициент жесткости K_2 изменяется от 816 до 1337 Н/м, то есть более чем в 1,6 раза. С увеличением S_0 диапазон изменения коэффициентов жесткости верхней и нижней ветви уменьшается. Так, при $S_0=8 H$ диапазон изменения K_2 составляет около 1,47 раза, а при $S_0 = 15H$ – примерно 1,4 раза.

Для наглядности на рис. 3-б приведены графики изменения коэффициентов жесткости ветвей K_1 и K_2 . Из него следует, что коэффициенты K_1 и K_2 повторяют (с некоторыми искажениями) характер натяжений соответствующих ветвей S_1 и S_2 . Пунктирной и сплошной линиями показаны изменения коэффициентов жесткости при предварительном натяжении 10 и 5 Н соответственно.

Укажем на характерную особенность рассматриваемой системы. В том случае,

когда скольжение основы относительно скала отсутствует, ветви основы представляют собой две отдельные системы, то есть такие системы, когда изменение деформации и натяжения в одной из ветвей не оказывает влияния на изменение натяжения и деформации в другой ветви.

Совсем иная картина наблюдается при скольжении основы по скалу. В этом случае обе ветви представляют собой одну единую систему. Коэффициенты жесткости обеих ветвей заменяются одним приведенным коэффициентом жесткости. На теории этого вопроса мы не останавливаемся, так как он хорошо изложен у В.А. Гордеева [1, стр. 81...84].

В заключение отметим, что изложенная методика применима к любому материалу, коэффициент жесткости которого зависит от натяжения, в том числе и для ткани.

ВЫВОДЫ

Учет коэффициента жесткости нитей основы от их натяжения подробнее описывает взаимосвязь между натяжением и деформацией текстильного материала. Это позволяет выявить многие особенности поведения системы заправки ткацкого станка, которые не могут быть объяснены при постоянном коэффициенте жесткости.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гордеев В.А. Динамика механизмов отпуска и натяжения основы ткацких станков. – М.: Легкая индустрия, 1965.

2. Ефремов Е.Д. Деформация упругой системы заправки на ткацком станке. – Иваново, 1979.

Рекомендована кафедрой теории механизмов и машин и проектирования текстильных машин. Поступила 03.03.05.