

ПАРАМЕТРИЧЕСКИ ВОЗБУЖДАЕМЫЕ ПОПЕРЕЧНЫЕ КОЛЕБАНИЯ НИТЕЙ В ПАРТИОННОМ СНОВАНИИ

Н.А. КУЛИДА

(Ивановская государственная текстильная академия)

В практике партионного снования отмечены случаи аномальной зависимости уровня обрывности нитей от скорости, когда эта зависимость носит не монотонно возрастающий характер, который легко объясним возрастанием натяжения при сматывании с бобины и увеличением аэродинамического сопротивления, а на некоторой скорости имеет явный максимум. Зафиксированы также случаи зависимости обрывности от расстояния между шпулярником и сновальной машиной.

В обоих случаях возрастание обрывности можно объяснить резонансом параметрически возбуждаемых поперечных колебаний нитей на участках между сновальной машиной и шпулярником, а также в других зонах движения нитей.

Поперечные колебания нитей возникают из-за периодически изменяющегося натяжения, которое можно представить в виде

$$F(t) = F_0(1 - 2a_f \cos \omega_B t), \quad (1)$$

где F_0 – среднее значение натяжения; $2a_f, \omega_B$ – относительное значение амплитуды и частота колебаний натяжения.

Анализ осциллограмм [1] показывает, что F_0 и a_f зависят от многих факторов, среди которых следует выделить скорость и линейную плотность нити, а также тип используемых нитенатяжных приборов [2].

$$\omega_B = \frac{2\lambda}{n} = (2\pi k / n\ell) \sqrt{fF_0 / \mu_0}, \quad n = 1, 2, 3, \dots, \quad (4)$$

где λ – собственная частота колебаний участка нити длиной ℓ и натяжением F_0 .

Частота возбуждающих колебаний определяется скоростью сматывания нити с

Частота изменения натяжения ω_B определяется длиной l_B нити, соответствующей периоду сматывания, которая обусловливается размерами бобины (для конечной бобины D_6 и d_6 – диаметры соответственно большого и малого оснований), и скоростью сматывания V .

Дифференциальное уравнение поперечных колебаний растяжимой по Гуку нити имеет вид [3]:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} - \left(\frac{fF}{\mu_0} - V^2 \right) \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + 2V \frac{\partial^2 u}{\partial x \partial t} = 0, \quad (2)$$

где $f = 1 + \alpha F$; α – коэффициент растяжимости; μ_0 – линейная плотность нити в недеформированном состоянии.

Если скорость продольного движения нити мала по сравнению со скоростью распространения волн в нити, то, как показано в [3], учет продольного движения нити со скоростью $V = 15$ м/с ведет к снижению собственной частоты первой гармоники приблизительно на 2 %, поэтому в дальнейшем считаем, что $V = 0$.

Учитывая (1), уравнение (2) запишем в виде:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} - \frac{fF_0}{\mu_0} (1 - 2a_f \cos \omega_B t) \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = 0. \quad (3)$$

Параметрический резонанс возможен, если [3]:

бобины и ее длиной l_B , соответствующей периоду сматывания. Если учесть, что $\omega_B = 2\pi V / \ell_B$, то формулу (4) для $k = n = 1$ можно представить в виде

$$\ell_B / V = \ell / \sqrt{F_0 / \mu_0} \quad (5)$$

то есть, если время сматывания нити длиной ℓ_B с бобины совпадет со временем распространения поперечной волны на участке длиной ℓ , то возникает резонанс колебаний на первой собственной частоте. Для того, чтобы избежать резонанса, необходимо $\ell_B / V \neq \ell / \sqrt{F_0 / \mu_0}$. Этого можно достичь при заданной скорости снования V соответствующим выбором F_0 .

Значение натяжения, удовлетворяющего равенству (5), назовем критическим:

$$F_{0кр} = (\ell / \ell_B)^2 \mu_0 V^2 \quad (6)$$

Зависимость критического значения натяжения от длины витка при различной скорости снования для участка нити длиной 3,75 м приведена на рис. 1, из которого следует, что с увеличением скорости снования критическое значение натяжения растет, причем диапазон его изменения также увеличивается.

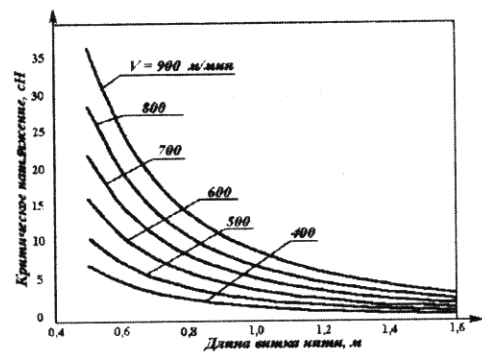


Рис. 1

Например, при скорости снования 900 м/мин критическое значение скорости изменяется от 3,6 до 36,7сН, что делает практически невозможным выбор режима снования, при котором бы исключались колебания нитей.

Параметрический резонанс наблюдается не только при определенном соотношении между собственными частотами колеблющейся нити и частотами возбуждающих колебаний, но и в некоторой области, называемой областью неустойчивости [4].

Известно, что для первой собственной частоты параметрический резонанс возможен, если частота возбуждающих колебаний из главной области неустойчивости находится в диапазоне [4]:

$$\omega_B \approx (2\pi / \ell) \sqrt{F_0 / \mu_0} \sqrt{1 \pm a_f} \approx (2\pi / \ell) \sqrt{F_0 / \mu_0} \pm (\pi a_f / \ell) \sqrt{F_0 / \mu_0} \quad (7)$$

то есть определяется амплитудой колебательной составляющей натяжения. При

изменении натяжения на $\pm \Delta F_0$ область неустойчивости станет равной

$$(\pi a_f / \ell) \sqrt{F_0 / \mu_0} \pm \frac{\partial [(\pi a_f / \ell) \sqrt{F_0 / \mu_0}]}{\partial F_0} \Delta F_0 = (\pi a_f / \ell) \sqrt{F_0 / \mu_0} (1 \pm \Delta F / F_0) \quad (8)$$

Если изменение первой собственной частоты, вызванное приращением натяжения F_0 на $\pm \Delta F_0$, не превышает области не-

устойчивости, то параметрический резонанс возможен. Тогда

$$\pm \frac{\partial (2\pi / \ell) \sqrt{F_0 / \mu_0}}{\partial F_0} \Delta F_0 = (\pi a_f / \ell) \sqrt{F_0 / \mu_0} (1 \pm \Delta F / F_0) \quad (9)$$

откуда

$$\left| \frac{\Delta F_0}{F_0} \right| = \frac{a_f}{1 - a_f} \quad (10)$$

Если учесть, что амплитуда колебательной составляющей натяжения равна $2a_f F_0$, то ее относительное значение δF_0 составляет $2a_f$, поэтому

$$\left| \frac{\Delta F_0}{F_0} \right| = \frac{\delta F_0}{2 - \delta F_0} \quad (11)$$

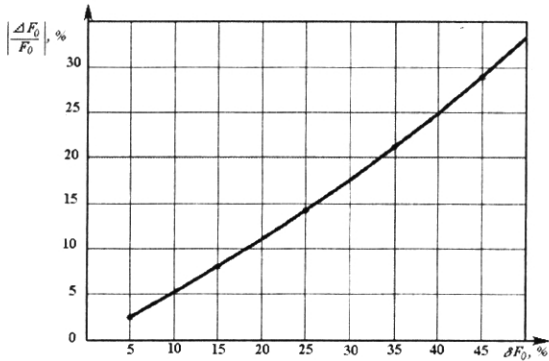


Рис. 2

На рис. 2 показана зависимость относительного изменения среднего значения натяжения нити от амплитуды колебательной составляющей натяжения, когда при заданной скорости снования возможен параметрический резонанс.

Установленная область неустойчивости по натяжению налагает определенные ограничения на неравномерность натяжения нитей на выходе шпулярика.

Если, например, снование хлопчатобумажной пряжи 29 текс осуществляется при скорости 600 м/мин, то критическое значение натяжения в начале срабатывания бобины, вычисленное по формуле (9), составляет для нити длиной 3 м 10,4 сН. Если при этом $\delta F_0 = 20\%$, то $\Delta F_0/F_0 = 11,1\%$ ($|\Delta F_0| \approx 1,2$ сН).

Для оценки неравномерности совокупности нитей рекомендуется использовать статистические характеристики. Пусть среднее значение натяжения на выходе шпулярика составляет 12 сН, а среднее квадратическое отклонение 1,8 сН (коэффициент вариации 15%), тогда при нормальном законе распределения доверительный интервал при вероятности 0,95 равен $\pm 1,96 \cdot 1,8 = 3,5$ сН, а $F_0 = (12,0 \pm 3,5)$ сН.

Параметрический резонанс на первой собственной частоте возможен при критическом натяжении 10,4 сН и области неустойчивости $\pm 1,2$ сН, то есть доверительный интервал и область неустойчивости перекрываются, и существует определенная вероятность появления нитей с натяжением из области неустойчивости, которые, попадая в резонанс, могут обрываться, что и зафиксировано в описанном выше наблюдении при сновании пряжи 29 текс.

Известно [3], что параметрический резонанс возможен и при более низкой частоте возбуждающих колебаний. Однако при этом, как показано ниже, время нарастания колебаний увеличивается по сравнению с резонансом при частоте возбуждающих колебаний, вдвое превышающих первую собственную. Аналогичная картина наблюдается и для собственных частот более высоких гармоник.

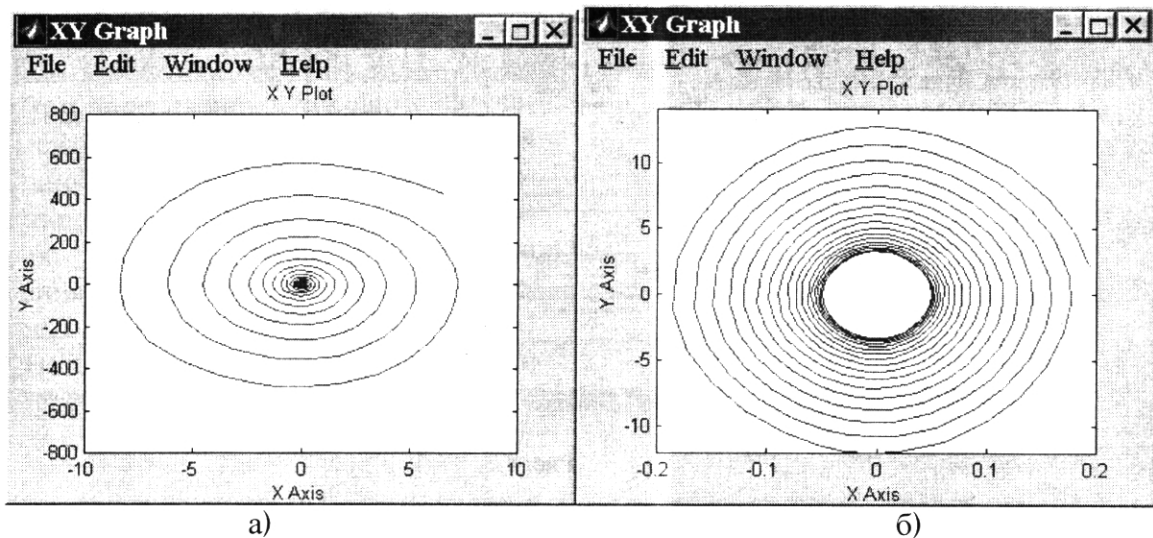


Рис. 3

С целью проверки установленных закономерностей возникновения поперечных колебаний, вызванных периодическими изменениями натяжения при сматывании нити с бобины, осуществлено моделирование параметрически возбуждаемых колебаний в Matlab.

Для рассмотренного выше примера выполнено построение фазового портрета (рис. 3-а), который свидетельствует о возникновении резонанса колебаний. Резонанс сохраняется и при изменении натяжения на $\pm 1,2$ сН (рис. 3-б), однако при этом увеличивается время нарастания амплитуды колебаний. Если частоту возбуждающих колебаний снизить вдвое, то время нарастания также увеличивается.

В настоящее время широко используются шпулярники V-образного типа, в которых свободные участки нитей имеют значительную длину: максимальная длина равна расстоянию между последним вертикальным рядом шпулярника и распре-

лительным рядом сновальной машины и достигает на сновальной машине фирмы Benninger со шпулярником модели BEN-V-CREEL 15 м. Минимальная длина определяется расстоянием между шпулярником и сновальной машиной и составляет 3,75 м. Такой шпулярник фирма рекомендует использовать при сновании нитей линейной плотностью от 5 до 170 текс.

Пусть, например, необходимо осуществить снование пряжи линейной плотностью 29 текс на сновальной машине с V-образным шпулярником. Если дополнить блок-схему S-модели фрагментом вычисления критического значения натяжения, то полученную S-модель (рис. 4) можно использовать для определения возможности возникновения резонанса поперечных колебаний нитей с учетом установленной ранее области неустойчивости по натяжению.

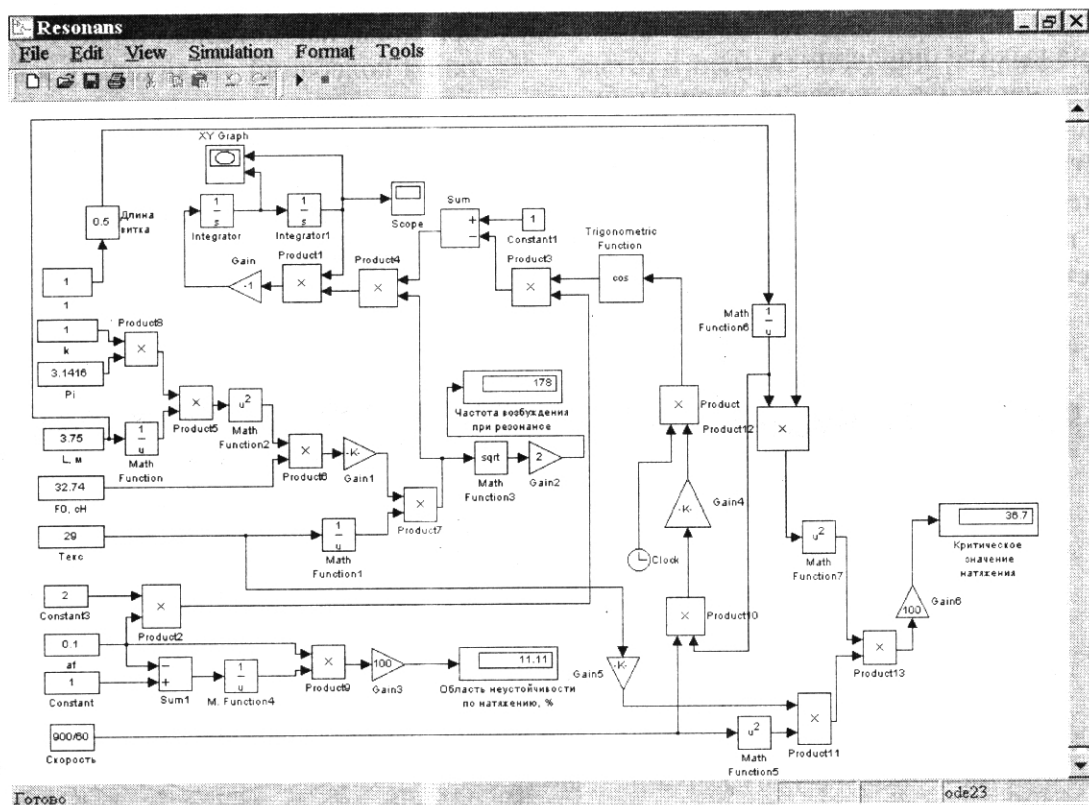


Рис. 4

Вычисленные критические значения натяжения для нитей длиной 3,75 м при скорости снования 1000 м/мин (16,7 м/с)

находятся в интервале от 5,8 до 45,3 сН и превышают 90 сН для нитей длиной 15 м. Таким образом, резонанс поперечных ко-

лебаний для нитей длиной 3,75 м при выбранной скорости снования можно исключить, если натяжение не будет превышать 5,8 сН. Конструкция V-образного шпулярика предусматривает возможность снования с низким уровнем натяжения.

На партионной сновальной машине с классическим секционным шпуляриком длина свободных участков нити максимальна в зоне между шпуляриком и сновальной машиной, которая для отечественных машин из-за неудовлетворительно быстрого действия устройства останова машины при обрыве нити несколько выше по сравнению с зарубежными аналогами. Поэтому для той же пряжи 29 текс при выборе скорости снования в диапазоне от 400 до 800 м/мин критическое значение натяжения не превышает 18,6 сН, причем величина критического натяжения возрастает к концу срабатывания бобин. Если здесь обеспечить среднее натяжение нитей более 19 сН и с неравномерностью, не приближающей натяжение к области неустойчивости, то можно избежать параметрического резонанса.

Положительное влияние на натяжение перематываемых нитей оказывает мерильный вал сновальной машины, который, как показано ранее [5], уменьшает амплитуду колебательной составляющей натяжения. По этой причине резонанс поперечных колебаний в зоне между мерильным и сновальными валами нами не наблюдался.

ВЫВОДЫ

1. При определенных условиях на участке между шпуляриком и партионной сновальной машиной возможно возникновение поперечных колебаний нитей, вызванных периодическими изменениями натяжения при сматывании с бобин, которые приводят к увеличению обрывности.

2. Возникновение поперечных колеба-

ний нитей более вероятно при доработке бобин, когда частота периодических колебаний натяжения максимальна.

Для исключения поперечных колебаний необходим правильный выбор режима сновки: скорость, среднее значение натяжения нитей и его неравномерность должны выбираться и обеспечиваться при намотке сновального вала из условия исключения параметрического резонанса на первой собственной частоте поперечных колебаний.

3. Амплитуда колебательной составляющей натяжения оказывает существенное влияние как на возможность возникновения поперечных колебаний, так и на область неустойчивости по натяжению. Для уменьшения амплитуды колебательной составляющей рекомендуется использовать нитенатяжные приборы с высоким уровнем аддитивной составляющей натяжения или роликовые нитенатяжители, снижающие амплитуду колебаний натяжения за счет фильтрации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ефремов Е.Д., Кислякова А.М., Попова Г.К. Технологический процесс снования пряжи в текстильном производстве. – Ярославль, 1977.
2. Кулида Н.А. // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2001, № 4. С.25...29.
3. Якубовский Ю.В. и др. Основы механики нити. – М.: Легкая индустрия, 1973.
4. Болотин В.В. Динамическая устойчивость упругих систем. – М.: Гостехтеоретиздат, 1956.
5. Кулида Н.А. // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2000, № 3. С.48...52.

Рекомендована кафедрой автоматики и радиоэлектроники. Поступила 04.11.02.