

## О МОДЕЛИРОВАНИИ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ПАКОВОК РУЛОННОГО ТИПА

*А.Ю. КУТЬИН, Ю.К. КУТЬИН*

(Ивановская государственная текстильная академия,  
Ивановский научно-исследовательский институт хлопчатобумажной промышленности)

Воздействие на процесс наматывания длинномерных материалов множества случайных дестабилизирующих факторов приводит к тому, что воспроизводимые в результате этого процесса цилиндрические паковки имеют разную структуру и плотность намотки, неодинаковые текущие и конечные радиусы, длину материала и количество совершенных ими оборотов [1]. Разматывание таких паковок на стойке шлихтовальной машины или навоев на двухполотенных ткацких станках сопровождается значительными экономическими потерями [2].

Очевидно, чтобы эффективно управлять процессом наматывания длинномерных материалов, нужно его описать и определить параметры, подлежащие регулированию.

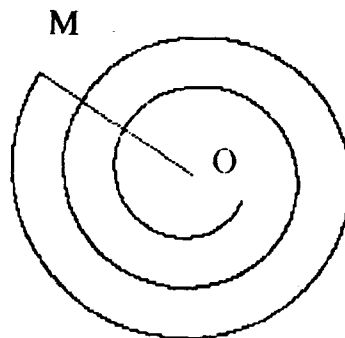


Рис. 1

Рассмотрим простую плоскую модель, когда движение точки наматывания материала относительно паковки можно описать линией, образованной одновременно равномерным движением точки М по лучу

ОМ и равномерным вращением указанного луча вокруг центра О (рис. 1). Геометрическое место точек, образованных такой линией, известное как спираль Архимеда, описывается уравнениями:

$$\rho = Vt + \rho_0, \quad (1)$$

$$\rho = \frac{V}{\omega} \theta + \rho_0, \quad (2)$$

где  $\rho$  – текущий радиус катушки;  $V$  – скорость перемещения точки наматывания по лучу ОМ,  $t$  – время вращения паковки ( $t = \theta/\omega$ );  $\theta$  – угол, на который повернулась паковка за время наматывания материала ( $\theta = 2\pi n$ );  $n$  – количество оборотов паковки;  $\omega$  – угловая скорость паковки;  $V/\omega = \text{const}$  – параметр спирали ( $a = V/\omega = d\rho/d\theta$ ) или иначе – скорость перемещения точки наматывания по ее полярному радиусу (по лучу ОМ) в полярных координатах;  $\rho_0$  – радиус основания паковки.

На основании формулы (2) известным методом спрямления спирали получим выражение для определения длины наматываемого материала [3]:

$$L = \frac{a\theta^2}{2} + \rho_0\theta = 2\pi n(\pi na + \rho_0) = \frac{\rho^2 - \rho_0^2}{2a}. \quad (3)$$

С учетом (3) средняя объемная плотность катушки  $\gamma_{\text{ср}}$  определяется с помощью выражений

$$\gamma_{\text{ср}} = \frac{mL}{\pi N(\rho^2 - \rho_0^2)}, \quad (4)$$

$$\gamma_{\text{ср}} = \frac{b}{2a}, \quad (5)$$

где  $m$  – масса единицы длины материала;  $N$  – раскладка фланцев основания паковки;  $b = m/\pi N$ .

При описании процесса формирования партионных сновальных паковок  $m = MT$ , где  $M$  – число нитей в заправке;  $T$  – линейная плотность пряжи.

Анализ выражений (2..4) позволяет сделать следующие выводы. Во-первых, эти выражения связывают в единое целое основные технологические параметры и по существу являются моделью формирования цилиндрической паковки с заданной структурой без изменения плотности катушки и без смещения витков при ее формировании [1]. Во-вторых, системы управления, предназначенные для формирования тождественных паковок, должны поддерживать фактический радиус катушки равным теоретическому. Точное воспроизведение зависимости (2) обеспечивает тождественность паковок по радиусам, по длине материала и по плотности катушки. И третий вывод: формирование паковок в соответствии с заданной моделью позволяет воздействовать на катушку с переменным усилием, адекватно действующим случайным факторам. Например, при случайном увеличении линейной плотности пряжи в сновании усилие автоматически увеличивается, а при уменьшении – ослабляется. Последнее очень важно с точки зрения формирования качественного ткацкого навоя [2].

В то же время, выражение (2) применительно к описанию катушки можно использовать лишь в качестве аппроксимирующей функции, так как существующие сновальные и шлихтовальные машины работают при постоянной линейной скорости наматываемого материала ( $v = \omega\rho = \text{const}$ ). С увеличением радиуса угловая скорость падает, следовательно, для сохранения параметра  $a$  постоянным необходимо снижать скорость  $V$  по тому же закону, что и угловую  $\omega$ , а значит, увеличивать усилие прижима укатывающего органа к телу катушки. Иными словами, когда параметр  $a = d\rho/d\theta = \text{const}$ , а его изменение

$\chi = d^2\rho/d\theta^2 = 0$ , усилие прижима укатывающего органа к телу намотки с ростом угла поворота паковки  $\theta$  увеличивается. Такой режим работы практически неосуществим, поскольку возможность увеличивать усилие прижима ограничена возможностями двигателя, вращающего паковку.

Вследствие этого рассматриваемая модель используется только для описания достаточно тонкого по толщине слоя, а чтобы описать с ее помощью формирование всей паковки в целом, намотка разбивается на ряд равных по толщине слоев, в каждом из которых величины скорости  $a$  и плотности постоянны, но от слоя к слою изменяются. Такой подход является достаточно универсальным, так как позволяет описать любой закон наматывания длинномерного материала на паковку. В частности, именно на этой основе был создан алгоритм управления формированием идентичных сновальных паковок на модернизированной машине СП-140. Воспроизведение идентичных паковок позволило в шлихтовании все валы на стойке шлихтовальной машины разматывать с равными значениями угловой скорости и тем самым резко сократить отходы мягкой пряжи, а также решить задачу выравнивания натяжения групп нитей по ширине полотна ткацкого навоя.

Сделанные теоретические выводы и практические результаты подтверждаются работами [1,2,4,5].

Учитывая информацию об изменении  $\chi$  параметра  $a$ , рассмотрим более сложную модель, когда

$$\chi = \frac{d^2\rho(\theta)}{d\theta^2} = \text{const} > 0. \quad (6)$$

Проинтегрировав выражение (6), выразим скорость точки наматывания (в полярных координатах), следующим образом:

$$a = a_n + \chi\theta, \quad (7)$$

где  $a_n$  – начальная скорость перемещения точки наматывания по ее полярному радиусу (в полярных координатах).

Рассчитаем значение  $\chi$  по формуле

$$\chi = (a_k - a_n)/\theta_k, \quad (8)$$

где  $\theta_k$  – значение угла поворота паковки при завершении процесса ее формирования;  $a_k$  – конечная скорость перемещения точки наматывания по ее полярному радиусу (в полярных координатах).

Интегрирование выражения (7) позволяет получить зависимости радиуса и длины намотки от угла поворота паковки [3]:

$$\rho = \int a d\theta = a_n\theta + \frac{\chi\theta^2}{2} + \rho_0, \quad (9)$$

$$L = \frac{a_n\theta^2}{2} + \frac{\chi\theta^3}{6} + \rho_0\theta. \quad (10)$$

При увеличении угла поворота  $\theta$  текущий радиус возрастает по параболической зависимости (9) и расстояние между витками спирали при возрастании  $\theta$  увеличивается. Если количество оборотов, совершенных паковкой ( $\theta = 2\pi n$ ), использовать как аргумент и учесть (5), то выражения (9) и (10) можно записать иначе:

$$\rho = \pi n \left( \frac{b}{\gamma_n} + 2\chi\pi n \right) + \rho_0, \quad (11)$$

$$L = \pi n \left( \frac{4\chi\pi^2 n^2}{3} + \frac{b\pi n}{\gamma_n} + 2\rho_0 \right), \quad (12)$$

где  $\gamma_H$  – плотность начального слоя  
намотки.

Величину  $\chi$  также можно представить  
иначе:

$$\chi = \frac{b(1/\gamma_K - 1/\gamma_H)}{4\pi n_K}, \quad (13)$$

где  $\gamma_K$  – плотность последнего слоя  
намотки;  $n_K$  – количество оборотов  
паковки при завершении процесса ее  
формирования.

Плотность намотки определяется с  
помощью формулы (4). Причем  
зависимость  $\gamma_{cp}(n)$  имеет практически  
линейный характер. Таким образом, как и  
в предыдущем случае, очевидна  
существенная зависимость структуры  
намотки, ее геометрических параметров и  
размеров от скорости  $a$  перемещения точки  
наматывания (в полярных координатах).

Рассмотрим третий вариант движения  
точки наматывания, когда изменение  $\chi$   
параметра  $a$  обратно пропорционально  
углу поворота паковки  $\theta$ :

$$\chi = \frac{d^2 \varrho(\theta)}{d\theta^2} = \frac{c}{\theta} > 0, \quad (14)$$

где  $c$  – константа и  $1 \leq \theta \leq \theta_K$ .

В данном случае скорость точки  
наматывания (в полярных координатах)  
при возрастании  $\theta$  будет увеличиваться по  
логарифмической зависимости:

$$a = a_H + c \ln \theta. \quad (15)$$

Соответственно изменятся выражения  
для радиуса и длины намотки:

$$\varrho = a_H \theta + c \theta (\ln \theta - 1) + \varrho_0, \quad (16)$$

$$L = \frac{\theta^2}{2} (a_H + c \ln \theta - 1,5c) + \varrho_0 \theta, \quad (17)$$

где  $c = (a_K - a_H) / \ln \theta_K$ .

При увеличении угла поворота  $\theta$   
возрастание радиуса замедляется (16), то  
есть расстояние между витками спирали  
при возрастании  $\theta$  уменьшается. Если  
использовать как аргумент количество  
оборотов  $n$ , совершенных паковкой, то (16)  
и (17) можно представить в виде

$$\varrho = \pi n \left[ \frac{b}{\gamma_H} + 2c (\ln(2\pi n) - 1) \right] + \varrho_0, \quad (18)$$

$$L = 2\pi^2 n^2 \left[ \frac{b}{2\gamma_H} + c \ln(2\pi n) - 1,5c \right] + 2\pi n \varrho_0. \quad (19)$$

Плотность намотки определяется по  
формуле (4). Зависимость  $\gamma_{cp}(n)$  имеет  
нелинейный характер и соответствует  
традиционному варианту формирования  
паковок с фиксированным усилием  
прижима укатывающего органа к намотке  
[1].

Три представленных варианта описания  
движения точки наматывания можно  
интерпретировать следующим образом.  
Если  $a = \text{const}$ , то сила со стороны  
укатывающего органа уравновешивается  
силой реакции со стороны намотки и  
вследствие этого точка наматывания  
равномерно перемещается по полярному  
радиусу. Расстояние между витками  
спирали остается постоянным и плотность  
намотки не меняет своего значения. Когда  
 $a = a_H + \chi \theta$ , то сила реакции со стороны  
намотки больше, чем сила со стороны  
укатывающего органа и их  
равнодействующая постоянна. В том  
случае, когда  $a = a_H + c \ln \theta$ , сила реакции  
со стороны намотки больше, чем сила со  
стороны укатывающего органа, но с  
ростом  $n$  она уменьшается по причине  
происходящих внутри намотки процессов:  
возрастающего давления вышележащих  
слоев намотки на нижележащие,  
релаксации напряжения в слоях намотки и

изменения их положения в результате действия сил сжатия и упругости. Это означает, что с ростом  $n$  внутри катушки происходит смещение витков относительно геометрического центра паковки [4].

Как упоминалось ранее, на базе первого из вариантов описания движения точки наматывания создан алгоритм управления, использующийся для формирования тождественных сновальных паковок на модернизированных машинах СП-140 в производственных предприятиях ООО «Тезинка» (г. Шуя Ивановской обл.) и ЗАО «Истомкинская прядильно-ткацкая фабрика» (г. Ногинск Московской обл.) [2]. Привлекательность других представленных здесь моделей обусловлена, в первую очередь, тем, что их параметры достаточно легко определяются на основе исходных данных формируемых паковок. Вместе с тем перспективы их дальнейшего использования будут выяснены с помощью быстродействующего программируемого контроллера, для которого на основе этих моделей создаются алгоритмы управления формированием паковок. Сочетание моделирования и микропроцессорного управления существенно ускорит исследовательские работы в области новой технологии формирования тождественных паковок с оптимальными параметрами, характеризующими напряженную структуру катушки.

## ВЫВОДЫ

Проектирование катушки длинномерных материалов заключается, прежде всего, в выборе характера изменения

скорости перемещения точки наматывания по полярному радиусу. Выбранная зависимость определяет структуру катушки, включая ее геометрические параметры и размеры.

Тождественности формируемых паковок можно достигать с помощью активного отвода укатывающего органа от тела катушки. Достаточно фактический радиус катушки поддерживать равным теоретическому. В этом случае воздействие на катушку происходит с переменным усилием, адекватно действующим случайным факторам.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Кутьин А.Ю. Малоотходная технология формирования ткацкого навола на основе получения идентичных сновальных паковок : Дис. ... канд. техн. наук. – Иваново, 1997.
2. Кутьин А.Ю., Кутьин Ю.К. // Текстильная промышленность. – 1999, № 11. С.29...31.
3. Зайцев В.П. // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1970, № 3. С.56...61.
4. Кутьин А.Ю., Маховер В.Л. // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1998, № 3. С.40...44.
5. Кутьин Ю.К. и др. // Текстильная промышленность. – 1998, № 4. С.35...36.

Рекомендована кафедрой прикладной математики и информационных технологий. Поступила 25.01.01.