

НЕОБХОДИМЫЕ И ДОСТАТОЧНЫЕ УСЛОВИЯ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ НАМОТКИ С ПОСТОЯННОЙ ПЛОТНОСТЬЮ В ПАРТИОННОМ СНОВАНИИ

А.Ю. КУТЬИН, Ю.К. КУТЬИН

(Ивановская государственная текстильная академия)

Как показывают исследования [1] и [2], процесс формирования цилиндрической паковки длинномерного текстильного материала можно описать математической моделью, состоящей из четырех уравнений:

$$a = f(\theta), \quad (1)$$

$$\rho(\theta) - \rho_0 = \int_0^\theta a d\theta, \quad (2)$$

$$L = \int_0^\theta \rho(\theta) d\theta, \quad (3)$$

$$\gamma = \frac{mL(\theta)}{\pi H[\rho^2(\theta) - \rho_0^2]}, \quad (4)$$

где a – параметр спирали намотки [3] или иначе – параметрическая скорость перемещения точки наматывания по ее полярному радиусу [4]; ρ – текущий радиус намотки; θ – угол поворота паковки; ρ_0 – радиус основания паковки; L – текущая длина намотки; m – масса единицы длины полотна, перерабатываемого материала; H – ширина полотна; γ – плотность намотки.

Плотность $\gamma_{сл}$ элементарного поверхностного слоя намотки рассчитывается с помощью формулы (4):

$$\gamma_{сл} = \frac{bdL}{d(\rho^2 - \rho_0^2)} = \frac{b\rho d\theta}{2\rho d\rho} = \frac{b}{2\frac{d\rho}{d\theta}} = \frac{b}{2a}, \quad (5)$$

где $b = m/\pi H$.

Величина параметра a определяется отношением скорости v перемещения точки наматывания по полярному радиусу

к ее угловой скорости ω ($a = v/\omega$) [4]. В частном случае, когда параметр a не меняет своего значения в процессе наматывания, система уравнений (1)...(4) описывает формирование паковки с постоянной плотностью [4]. Действительно, если $a = \text{const}$, то

$$\rho - \rho_0 = a\theta, \quad (6)$$

$$L = \frac{a\theta^2}{2} + \rho_0\theta = \frac{\rho^2 - \rho_0^2}{2a}, \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \gamma &= \frac{mL}{\pi H(\rho^2 - \rho_0^2)} = \\ &= b \left(\frac{\rho^2 - \rho_0^2}{2a} \div \frac{\rho^2 - \rho_0^2}{1} \right) = \\ &= \frac{b}{2a} = \text{const}. \end{aligned} \quad (8)$$

Но на практике данная модель использовалась лишь как аппроксимирующая при разработке алгоритма управления отводом уплотняющего вала [5], так как осуществить процесс формирования намотки в соответствии с выражениями (6)...(8) не представляется возможным.

Во-первых, формируемый физический объект (тело намотки) обладает упругой, эластической и пластической деформациями, плотность которого не может мгновенно возрасти от низкого стартового значения до требуемого (8). Во-вторых, наматывание сновальных и шлихтовальных паковок происходит с постоянной линейной скоростью, вследствие чего с увеличением радиуса намотки уменьшается их угловая скорость.

Это значит, что для сохранения параметра $a = v/\omega$ постоянным необходимо снижать скорость v перемещения точки наматывания по полярному радиусу так же, как снижается угловая скорость. Реально этого можно достигнуть, только увеличивая усилие прижима уплотняющего органа к телу катушки, но тогда возрастает потребление энергии, увеличивается нагрузка главного электродвигателя и даже снижается линейная скорость снования.

В то же время анализ системы (6)...(8) показывает, что, если обеспечить снижение скорости v перемещения точки наматывания по полярному радиусу в соответствии с законом, близким к падению угловой скорости ω , так, чтобы отношение v/ω менялось незначительно ($a = v/\omega \approx \text{const}$), то можно минимизировать снижение плотности во время наматывания и добиться компромиссного решения.

Варианты такого решения могут быть разными. Например, один из них предполагает изменение параметра a по линейной зависимости [4].

В этом случае модель наматывания длинномерного материала выглядит следующим образом:

$$a = a_n + \chi\theta, \quad (9)$$

$$\rho = a_n\theta + \frac{\chi\theta^2}{2} + \rho_0, \quad (10)$$

$$L = \frac{a_n\theta^2}{2} + \frac{\chi\theta^3}{6} + \rho_0\theta, \quad (11)$$

$$\gamma = \frac{b}{2a_{\text{cp}}} \left[1 - \frac{\chi\theta^2}{6(a_{\text{cp}}\theta + 2\rho_0)} \right] \approx \frac{b}{2a_{\text{cp}}}, \quad (12)$$

где a_n – начальная параметрическая скорость перемещения точки наматывания; χ – скорость изменения функции $a(\theta)$; a_{cp} – среднее значение функции $a(\theta)$ на интервале $[0; \theta]$:

$$a_{\text{cp}} = \frac{\int_0^\theta a d\theta}{\theta} = a_n + \frac{\chi\theta}{2}. \quad (13)$$

Формула (12) получена из уравнения (4). Величины a_n и a_k конечной параметрической скорости перемещения точки наматывания непосредственно связаны с начальной γ_n и конечной γ_k плотностью катушки (5):

$$a_n = b/2\gamma_n, a_k = b/2\gamma_k. \quad (14)$$

Проиллюстрируем методику расчета параметров катушки по линейной модели, которая использовалась на практике для формирования сновальных паковок. Исходные данные паковок: длина снования $L_c = 10000$ м; линейная плотность пряжи $T = 5 \cdot 10^{-5}$ кг/м; число снующихся нитей $M = 402$; начальная плотность катушки $\gamma_n = 484,5$ кг/м³; средняя объемная плотность катушки $\gamma = 470$ кг/м³; радиус ствола сновального вала $\rho_0 = 0,12$ м; максимально допустимый радиус катушки $\rho_m = 0,355$ м; рассадка фланцев $H = 1,4$ м.

Методика включает в себя простые вычисления. На основе формулы (4) определяется максимальная длина L_m катушки, соответствующая радиусу ρ_m . По формуле (14) вычисляется значение a_n . Совместное решение уравнений (10) и (11) позволяет свести их к квадратному уравнению, одним из корней которого является угол поворота θ_ϕ (на него должна поворачиваться паковка при наматывании длины L_m). Затем рассчитывается значение χ .

С помощью найденных величин вычисляются характеристики паковок (табл. 1), воспроизводимых по спирали с линейным изменением параметрической скорости перемещения точки наматывания.

Таблица 1

№ п/п	Число оборотов паковки, $n=\theta/2\pi$	Текущий радиус намотки, м	Параметр спирали $a \cdot 10^{-6}$, м/рад	Длина снования, м	Текущая плотность намотки, кг/м ³
1	500	0,1348	4,73238	400,3	483,66
2	1000	0,1497	4,74854	847,3	482,79
3	1500	0,1647	4,76469	1341,2	481,89
4	2000	0,1797	4,78085	1882,0	480,99
5	2500	0,1947	4,79701	2470,1	480,06
6	3000	0,2098	4,81317	3105,5	479,13
7	3500	0,2250	4,82932	3788,5	478,18
8	4000	0,2402	4,84548	4519,0	477,23
9	4500	0,2554	4,86164	5297,5	476,27
10	5000	0,2707	4,87779	6123,9	475,31
11	5500	0,2861	4,89395	6998,4	474,34
12	6000	0,3015	4,91011	7921,2	473,37
13	6500	0,3169	4,92626	8892,5	472,40
14	7000	0,3324	4,94242	9912,4	471,42
15	7041,845	0,3337	4,94377	10000	471,34

Начальная фаза процесса формирования (переходная зона) сновальных паковок, когда собственно формируется тело намотки, длится в течение первых 1000 оборотов паковки. При воспроизводстве паковок останов машины производится по датчику длины намотки.

Из представленных в табл. 1 данных видно, что скорость перемещения точки наматывания после переходной зоны возрастает на 4,11 %, а средняя объемная плотность намотки снижается на 2,37 %. Это подчеркивает обоснованность тезиса о формировании паковок с плотностью, близкой к постоянной.

Еще один важный момент заключается в том, что данный расширяющийся вариант наматывания исключает гофрирование материала внутри намотки. Действительно, зависимость радиуса намотки (10) вогнутостью обращена кверху [3]. Это значит, что по мере наматывания нитей нижележащие слои намотки смещаются под действием сил упругости со стороны тела намотки от ствола паковки к ее поверхности [6], приобретая таким образом незначительное дополнительное натяжение.

В случае традиционной, сжимающейся намотки происходят обратные процессы: по мере наматывания нитей нижележащие слои намотки под действием вышележащих слоев намотки смещаются от поверх-

ности к центру паковки [6]. А поскольку процесс – случайный, то при определенных условиях внутри намотки образуются гофры.

Существует еще один вариант решения задачи формирования паковок с плотностью, близкой к постоянной, когда параметр a спирали намотки меняется по логарифмической зависимости [4]:

$$a = a_n + c \ln \theta, \quad (15)$$

$$\rho = a_n \theta + c \theta (\ln \theta - 1) + \rho_0, \quad (16)$$

$$L = \frac{\theta^2}{2} (a_n + c \ln \theta - 1,5c) + \rho_0 \theta, \quad (17)$$

$$\gamma = \frac{b}{2a_{cp}} \left(1 - \frac{0,5c\theta}{a_{cp}\theta + 2\rho_0} \right) \approx \frac{b}{2a_{cp}}, \quad (18)$$

где c – коэффициент, характеризующий скорость изменения функции $a(\theta)$.

Расчет параметров намотки, как и в первом случае, базируется на элементарных вычислениях. Исходные данные такие же. Кроме того, с учетом свойств логарифмической функции (15) и для достижения эффекта минимизации изменения плотности намотки предполагается, что $\gamma \approx \gamma_k$. Найденные коэффициенты и величины используются для расчета

характеристик паковок (табл. 2), наматываемых по спирали с логарифмическим

изменением параметрической скорости перемещения точки наматывания.

Таблица 2

№ п/п	Число оборотов паковки, $n=\theta/2\pi$	Текущий радиус намотки, м	Параметр спирали $a \cdot 10^{-6}$, м/рад	Длина снования, м	Текущая плотность намотки, кг/м ³
1	500	0,1351	4,82485	400,7	474,88
2	1000	0,1503	4,83420	849,0	473,92
3	1500	0,1655	4,83967	1345,0	473,36
4	2000	0,1807	4,84355	1888,8	472,95
5	2500	0,1959	4,84656	2480,4	472,63
6	3000	0,2111	4,84902	3119,8	472,36
7	3500	0,2264	4,85110	3807,1	472,14
8	4000	0,2416	4,85290	4542,2	471,95
9	4500	0,2569	4,85449	5325,3	471,77
10	5000	0,2721	4,85591	6156,2	471,61
11	5500	0,2874	4,85720	7035,1	471,48
12	6000	0,3026	4,85837	7961,9	471,35
13	6500	0,3179	4,85945	8936,7	471,23
14	7000	0,3331	4,86045	9959,4	471,12
15	7019,362	0,3338	4,86049	10000,0	471,12

Анализируя данные табл. 2 после переходной зоны, замечаем, что параметрическая скорость перемещения точки наматывания возрастает на 0,54 %, а плотность намотки снижается на 0,59 % – незначительно. Данная модель, как и представленная ранее, исключает появление гофр внутри намотки.

Воспроизводство паковок в соответствии с представленными моделями предполагает использование оборудования, обладающего возможностью управляемого воздействия уплотняющим органом на тело намотки. В частности, для реализации модели (9)...(12) использовались модернизированные сновальные машины СП-140, установленные в подготовительном отделе ОАО "Шаговец" (г. Вичуга, Ивановская обл.). Уплотняющий вал этой машины отводится от намотки таким образом, чтобы обеспечивалось равенство между фактическим радиусом и теоретическим. В итоге получают идентичные паковки с характеристиками, представленными в табл. 1.

Статистическая обработка результатов измерений конечных радиусов намотки показала, что абсолютное отклонение их величины от расчетной не превышает значения $4 \cdot 10^{-4}$ м. Это означает, что на стойке шлихтовальной машины могут оказаться

паковки с максимальным радиусом $\rho_{\max} = 0,3341$ м и минимальным радиусом $\rho_{\min} = 0,3333$ м. Задавая минимальную вытяжку V_{\min} , равную 1%, в соответствии с формулой [7] рассчитывается максимально возможная вытяжка V_{\max} в начале разматывания сновальных паковок.

Минимальная вытяжка выбирается с учетом того, что в реальных производственных условиях не всегда соблюдается параллельность образующих ствола сновального и уплотняющего валов:

$$V_{\max} = \left[\frac{\rho_{\max}}{\rho_{\min}} (1 + 0,01V_{\min}) - 1 \right] \cdot 100 = 1,24\% \quad (19)$$

Контроль вытяжки нитей, сматываемых с идентичных сновальных паковок, вращающихся с одинаковой угловой скоростью, выявил, что ее значения находятся в расчетном диапазоне и выравниваются [8]. В результате при доработке сновальных валов пряжа с них сходит одновременно.

ВЫВОДЫ

1. Выявлены необходимые и достаточные условия (формулы 6...8) для формирования текстильных паковок рулонного ти-

па с постоянной плотностью намотки. Впервые представлена методика формирования паковок с плотностью, близкой к постоянной. Ее основное условие – обеспечить снижение скорости v перемещения точки наматывания по полярному радиусу в соответствии с законом, близким к падению угловой скорости ω , так, чтобы отношение v/ω менялось незначительно ($a = v/\omega \approx \text{const}$).

2. Показано, что кроме сжимающейся намотки, которая образуется при постоянном усилии уплотняющего вала, можно воспроизводить расширяющуюся намотку при уменьшающемся усилии уплотняющего вала и при возрастании параметрической скорости a перемещения точки наматывания по линейной или логарифмической зависимости.

3. В условиях реального производства сформированы паковки в соответствии с математической моделью наматывания длинномерного материала, исключая образование гофр, когда параметрическая скорость a меняется по линейной зависимости.

1. Кутьин А.Ю. О погрешности вычисления длины текстильного материала, наматываемого в виде рулона, по упрощенной формуле спрямления дуги // Депонирована в ВИНТИ. – 07.07.2003. № 1285-В2003.

2. Кутьин А.Ю., Кутьин Ю.К., Паникратов С.К. // Текстильная промышленность. – 1996, № 3. С. 25...27.

3. Выгодский М.Я. Справочник по высшей математике. – М.: Физматгиз, 1961.

4. Кутьин А.Ю., Кутьин Ю.К. // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2001, № 2. С. 113...117.

5. Кутьин Ю.К., Кутьин А.Ю., Винокуров С.А. // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2001, № 1. С. 85...89.

6. Кутьин А.Ю., Махвер В.Л. // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1998, № 3. С. 40...44.

7. Кутьин А.Ю. Малоотходная технология формирования ткацкого навоя на основе получения идентичных сновальных паковок: Дис. ... канд. техн. наук / Ивановская государственная текстильная академия. – Иваново, 1997.

8. Кутьин А.Ю., Кутьин Ю.К. // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2003, № 3. С. 57...60.

Рекомендована кафедрой прикладной математики и информационных технологий. Поступила 30.11.04.