

УДК 677.051.7

**К ВОПРОСУ ОБ УКЛАДКЕ ВОЛОКНИСТОГО ПРОДУКТА В НЕПОДВИЖНЫЙ
КОНТЕЙНЕР**

ON THE LAYING FIBER PRODUCTS IN FIXED CONTAINERS

С.В. ВОЛКОВ, Н.К. ПАКУЛОВА, В.В. ВОЛКОВ

S.V. VOLKOV, N.K. PAKULOVA, V.V. VOLKOV

(Пензенский государственный технологический университет)

(Penza State Technological University)

E-mail: signumsw@mail.ru

В работе рассмотрен вариант укладки волокнистой ленты в неподвижный контейнер с помощью оригинального устройства, лишенного недостатков механизмов планетарного типа. Проанализированы кинематические особенности функционирования и технологические последствия его применения на соответствующем переходе переработки продукта.

В традиционных технологических процессах прядения на соответствующих переходах применяется укладка полупродукта (ленты) во вращающийся контейнер. Данный способ вполне приемлем как по технологическим, так и по эксплуатационным условиям производства, но до определенного уровня производительности оборудования. С увеличением скоростей выпуска растет и скорость вращения контейнеров с лентой, вес которых может достигать десятков килограммов, что сопровождается рядом негативных последствий в виде повышенных энергопотребления и виброактивности оборудования. Аналогичные последствия вызывает и неизбежное при этом увеличение скоростей вращения верхних лентоукладчиков. Кроме того, рост производительности связан с более скоростным срабатыванием питающих контейнеров, сопровождающимся увеличением динамических

нагрузок на питающую ленту. В результате волокнистая лента получает дополнительную неконтролируемую вытяжку, вызывающую рост неровноты и обрывности на питании.

Одним из способов решения указанных проблем является укладка волокнистого продукта в неподвижный контейнер. Существует известное многообразие конструкций обеспечивающих такую укладку [1]. Однако в основном это механизмы планетарного типа, конструктивно сложные и не обладающие приемлемой динамикой при работе на повышенных скоростях. При этом геометрия укладки витков ленты аналогична традиционному способу и не сопровождается достаточным ее упрочением за счет кручения.

Авторами предложен способ укладки ленты в неподвижный контейнер без использования планетарных механизмов. При этом продукт укладывается не по циклоиде, а по спирали Архимеда, что уменьшает объем незаполненного пространства и сопровождается некоторой круткой ленты из-за более высокой частоты вращения лентовода при уменьшении радиуса раскладки. На рис.1 представлена схема устройства укладки.

Работа устройства заключается в следующем. Ведущий конический вал 6 вращаясь с постоянной скоростью, приводит во вращение вертикальную трубку лентовода 3 через фрикционный ролик 5, входящий в плотный контакт со спиральной канавкой встречного направления вала 6. В результате верхний лентовод 3 одновременно совершает два движения: вращательное и поступательное параллельно образующей конуса 6. Опускание трубки 3 вызывает перемещение наклонного лентовода 2 по радиальному пазу тарелки 1, увеличивая непрерывно радиус спирали (витка ленты). По достижении максимума радиуса укладки процесс повторяется в обратном порядке из-за попадания ролика 5 в канавку встречного направления вала 6.

Обозначим через φ_1 , ω_1 , R_1 , и φ_2 , ω_2 , R_2 угол поворота, угловую скорость и радиус соответственно конического вала 6 и радиуса-вектора производящей точки спирали в контейнере. Известно, что радиус спирали в функции угла поворота луча φ_2 можно представить в виде [2]

$$R_2(\varphi_2) = \frac{a(\varphi_2^3 + 1)^{3/2}}{(\varphi_2^2 + 2)}, \quad (1)$$

R_2 примем за параметр горизонтального перемещения выходного отверстия лентовода 2.

Тогда скорость его радиального перемещения (производящая точка спирали)

$$V_2 = \frac{dR_2}{dt} \quad (2)$$

и
$$\frac{V_2}{\omega_2} = a > 0. \quad (3)$$

Постоянная a входит в выражение для расстояния между витками спирали

$$S = 2\pi a, \quad \text{откуда} \quad a = \frac{S}{2\pi}. \quad (4)$$

Перемещение выходного конца наклонного лентовода 2 связано с перемещением вертикальной трубки 3 по правилу прямоугольного треугольника.

$$y = \sqrt{L^2 - R^2}, \quad (5)$$

где L - длина наклонного лентовода.

Вертикальное перемещение лентовода со скоростью $V_6 = \frac{dy}{dt}$ происходит параллельно

образующей конуса вала 6, поэтому

$$y = \frac{y'}{\cos \alpha}, \quad (6)$$

где y' – перемещение точки по спиральной канавке конуса вдоль его оси; α – угол конуса.

Если h - шаг нарезки, то
$$y' = \frac{h}{2\pi} \varphi_1, \quad (7)$$

Из (6) имеем:
$$y = \frac{h\varphi_1}{2\pi \cos \alpha}.$$

Учитывая, что
$$\varphi_2 = \varphi_1 \frac{R_{li}}{r}, \quad (8)$$

где R_{li} - текущий радиус конуса в точке контакта с роликом 5; r - радиус ролика 5.

Предыдущее выражение можно переписать в виде

$$\varphi_2 = \varphi_1 \frac{h}{r} \operatorname{tg} \alpha = \varphi_1 d \operatorname{tg} \alpha, \quad (9)$$

где $d = \frac{h}{r}$.

Теперь подставляя в (1) вместо φ_2 выражение (9) и далее в (5) получаем

$$y(\varphi) = \sqrt{L^2 - \frac{a^2 \left[(\varphi_1 d \cdot \operatorname{tg} \alpha)^3 + 1 \right]^3}{\left[(\varphi_1 d \cdot \operatorname{tg} \alpha)^2 + 2 \right]^2}}, \quad (10)$$

Скорость перемещения вертикальной трубки лентовода с учетом того, что $b = d \operatorname{tg} \alpha$ равна

$$\frac{dy}{d\varphi} = \frac{a^2 (\varphi_1^3 b^3 + 1)^3 \left(\frac{4b^2 \varphi_1}{\varphi_1^2 b^2 + 2} - 9b^3 \varphi_1 \right)}{2\sqrt{L^2 (\varphi_1^2 b^2 + 2)^2 - a^2 (\varphi_1^3 b^3 + 1)^3}}, \quad (11)$$

Для практических целей более удобны полученные выражения как функции времени, учитывая, что $\varphi_1 = \omega_1 t$

$$y(t) = \sqrt{L^2 - \frac{a^2 \left[(\omega_1 \cdot t \cdot b)^3 + 1 \right]^3}{\left[(\omega_1 \cdot t \cdot b)^2 + 2 \right]^2}}. \quad (12)$$

Скорость вертикального перемещения

$$V_g = \frac{a^2 (\omega_1^3 t^3 b^3 + 1)^3 \left(\frac{4b^2 \omega_1 t}{\omega_1^2 t^2 b^2 + 2} - 9b^3 \omega_1 t \right)}{2\sqrt{L^2 (\omega_1^2 t^2 b^2 + 2)^2 - a^2 (\omega_1^3 t^3 b^3 + 1)^3}}. \quad (13)$$

Угловую скорость вала $\omega_1 = \operatorname{const}$ находим исходя из скорости выпуска лены V

$$V = \omega_{2\min} R_T, \quad (14)$$

где $\omega_{2\min}$ - минимальная угловая скорость вращения лентовода; R_T - радиус контейнера.

Но $\omega_2 = \omega_1 \frac{R_1}{r}$, где r - радиус приводного ролика 5.

Тогда из (14) имеем

$$\omega_1 = \frac{V \cdot r}{R_{1\min} R_T} \quad \text{или} \quad \omega_1 = \frac{V \cdot r}{R_{1\max} R_{2\min}}. \quad (15)$$

Параметры $V, R_T, R_{2\min}$ - известны, значения радиусов большого и меньшего оснований конуса $R_{1\min}$ и $R_{1\max}$, радиус приводного ролика r выбирается из конструктивных соображений.

Данный способ укладки отличается тем, что продукт при наработке контейнера получает крутку, переменную как во времени, так и по его длине. Как известно, величина крутки K определяется геометрией и кинематикой работы устройства укладки[3]. Из уравнения баланса круток имеем

$$ndt = dN + VdtK(t), \quad (16)$$

где ndt - число кручений продукта за время dt ; dN - дифференциал числа кручений в зоне; Vdt - длина продукта, поступившего из зоны кручения за время dt ; $VdtK(t)$ - число кручений, вынесенное продуктом за время dt .

Учитывая, что dN определяется длиной зоны кручения H и функцией $K(t)$:

$$dN = HdK(t). \quad (17)$$

С учетом (16) получаем: $HdK = ndt - VKdt$. (18)

Использование при этом постоянной времени зоны кручения $T = H/V$ (V – скорость движения продукта) требует специальной оговорки. Дело в том, что H меняется непрерывно от максимального до минимального значения соответственно положению вертикальной трубки 3. Поэтому в нашем случае $T = H(t)\omega(t)$ и в результате получаем:

$$\frac{H(t)\omega(t)}{V} \frac{dV}{dt} + K = \frac{n(t)}{V}. \quad (19)$$

Зависимости $H(t)$ и $\omega(t)$ известны из предыдущего рассмотрения, тогда крутка на единицу длины продукта равна

$$K = [n(t) - H(t)\omega(t)]/V. \quad (20)$$

Прочность волокнистой ленты определяется в первую очередь цепкостью волокон и в меньшей степени силами трения между ними (отсутствует давление в продукте). В нашем

случае продукт получает некоторую крутку, вызывающую появление дополнительных сил трения между волокнами из-за их взаимного огибания по винтовым кривым. При малых крутках (как в данном случае) упрочняющее действие кручения продукта будет связано с увеличением сил сопротивления скольжения волокон F_x . Из формулы Эйлера вытекает, что

$$F_x = \frac{ql}{\mu} \frac{e^{\mu\varphi} - 1}{\varphi},$$

где q - цепкость волокон; l – длина волокна; μ - коэффициент трения; φ – угол огибания.

С учетом того, что $\varphi = l/\beta$ (β – угол кручения) можно количественно оценить упрочняющее действие крутки на волокнистую ленту при спиральной укладке. Прочность ее оказывается существенно выше, чем ленты без кручения, особенно при выпуске в контейнеры малых диаметров.

ВЫВОДЫ

1. Практически доказана возможность осуществления укладки волокнистой ленты в неподвижный контейнер без использования планетарных механизмов.
2. Укладка по спирали Архимеда сопровождается не только уменьшением незаполненного пространства в контейнере, но и повышением прочности ленты из-за крутки, что благоприятно скажется на последующих технологических переходах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зырянов Евгений Викторович. Анализ и компьютерное моделирование процессов укладки ленты в контейнеры различной формы : дис. ... канд. техн. наук : 05.19.02 СПб., 2007. -194 с.
2. Погорелов А.В. Аналитическая геометрия. – М. Наука, 1978. – 285 с.
3. Севостьянов А.Г., Севостьянов П.А. Моделирование технологических процессов. – М. Легкая индустрия, 1984. – 302 с.