

## УПРАВЛЕНИЕ ОСЕВОЙ НАМОТКОЙ ТКАНИ

*В.Ф. ГЛАЗУНОВ*

(Ивановский государственный энергетический университет)

Осевая намотка гибких плоских материалов (бумага, металлический лист, ткань, пленка и т.д.) широко применяется в промышленном производстве. В зависимости от специфики технологического процесса к системе управления намоткой предъявляется ряд требований, к главным из которых следует отнести равномерность плотности намотки или длину намотанного материала.

Существующие системы управления осевой намоткой ткани построены, как правило, на принципе стабилизации ее натяжения и линейной скорости намотки. Их основным недостатком является отсутствие учета внутренних напряжений в рулоне, обусловленных давлением слоев наматываемого материала и, как следствие, невозможность качественного формирования рулона и его равноплотной структуры.

Так, для осевых накатов бумагоделательного производства установлено [1] возрастание плотности наматываемого при постоянном натяжении бумажного полот-

на в пределах небольшого (10...60) числа витков. Зависимость давления ткани в рулоне от числа его оборотов, полученная в [1], позволяет предположить ее экспоненциальный характер.

Это можно также показать, анализируя уравнение энергетического баланса процесса намотки в виде:

$$Wdn = \alpha Pdn + \beta dP. \quad (1)$$

Здесь  $W$  – потенциальная энергия, вносимая в рулон упругим материалом за один оборот рулона, Дж/об;  $n$  – число оборотов рулона;  $P = \frac{q}{\rho}$  – давление ткани в рулоне, Н/м<sup>2</sup>;  $q = \frac{F}{B}$ ;  $F$  – натяжение наматываемого полотна, Н;  $B$  – ширина полотна, м;  $\rho$  – радиус рулона, м;  $\alpha$  – коэффициент сжатия, показывающий, какая энергия за один оборот рулона затрачивается на его сжатие, м<sup>3</sup>/об;  $\beta$  – коэффициент внутреннего давления, показывающий, какую

энергию необходимо сообщить рулону, чтобы давление витков изменилось на  $1 \text{ Н/м}^2$ .

Решение дифференциального уравнения (1) с разделяющимися переменными имеет вид:

$$n = -\frac{\beta}{\alpha} \ln(W - \alpha P) + k, \quad (2)$$

где  $k$  – постоянная интегрирования находится из начальных условий: при  $n = 0$   $P = P_{\text{нач}}$ .

Тогда

$$k = -\frac{\beta}{\alpha} \ln \frac{W - \alpha P}{W - \alpha P_{\text{нач}}}. \quad (3)$$

Подставив (3) в (2), имеем:

$$-\frac{\alpha}{\beta} n = \ln \frac{W - \alpha P}{W - \alpha P_{\text{нач}}}, \quad (4)$$

откуда

$$P(n) = \frac{W}{\alpha} \left( 1 - e^{-\frac{n}{\lambda}} \right) + P_{\text{нач}} e^{-\frac{n}{\lambda}}. \quad (5)$$

Зависимость (5) давления от числа оборотов рулона является экспоненциальной.

Здесь  $\lambda = \frac{P}{\alpha}$  – постоянная, характеризующая увеличение давления с ростом числа оборотов рулона. Это число оборотов, при котором давление  $P$  увеличивается до установившегося значения при  $\alpha = 0$ . При этом рулон не сжимается и уравнение (1) имеет вид:

$$W dn = \beta dP, \quad (6)$$

откуда  $n = \frac{\beta}{W} P$ . Тогда число оборотов рулона, соответствующее значению  $P_{\text{уст}}$ :

$$n_{\text{уст}} = \frac{\beta}{W} \frac{W}{\alpha} = \frac{\beta}{\alpha} = \lambda.$$

На первых витках  $\alpha = 0$ , тогда

$$\beta = \frac{\Delta W}{\Delta P} = \frac{E^2 \varepsilon p}{2q},$$

где  $\varepsilon$ ,  $E$  – относительное удлинение и модуль упругости наматываемого полотна;

$W = \frac{E \varepsilon^2}{2}$  – потенциальная энергия полотна, Дж.

Параметры  $\alpha$  и  $\beta$  определяются экспериментально в процессе формирования рулона.

Результаты аналитического исследования напряженного состояния ткани в рулоне [2], выполненного на основании теории упругости анизотропного тела, показали невозможность обеспечения равномерной плотности намотки при постоянном намоточном натяжении. При этом рекомендуется уменьшать натяжение ткани по мере намотки в соответствии с зависимостью (17) [2]. Экспериментальными исследованиями [3] выявлены радиальное и окружное перемещение слоев ткани, а также ее остаточная деформация, возрастающая с ростом натяжения наматываемого полотна.

Последнее можно объяснить, по-видимому, существенно различными свойствами бумажного полотна и ткани, анизотропная структура которой отличается значительно меньшей плотностью и большей подвижностью.

Как показано в [3], действие наматываемых витков ткани распространяется по радиусу рулона на ограниченную периферийную зону. При этом с ростом степени анизотропных свойств рулона глубина действия витка уменьшается.

Перспективное направление в решении задачи управления процессом осевой намотки ткани связано с использованием средств микропроцессорной техники.

Однако анализ рассмотренных подходов к описанию процесса формирования осевой намотки гибких упругих материалов позволил установить сложность их использования в системе управления намоткой, построенной на этой базе, так как они

не обладают необходимой для этого математической упорядоченностью.

В одном из вариантов решения этой задачи используется математическая модель, основанная на методе механических аналогий [4]. При этом формируемый рулон представляется в виде соединения элементарных упругостей и масс, отражающих давление витка на нижерасположенные слои, а упругость – эквивалентом деформационных свойств витка в радиальном направлении. В результате последовательного решения системы уравнений, описывающих процесс деформации рулона при намотке каждого слоя, формируются массивы данных о текущих и граничных координатах, отражающих происходящие в рулоне процессы. Указанный алгоритм ориентирован на его микропроцессорную реализацию.

Для прогнозирования недопустимого при намотке гофрообразования полотна используется массив радиусов рулона, получаемый в результате намотки с постоянным натяжением тестового рулона. Для каждого слоя оценивается величина усадки слоя в радиальном направлении, исходя из числа уже намотанных слоев и степени их деформации в радиальном направлении. Недостатком этой модели является сложность учета тангенциальных усилий, действующих на полотно в процессе намотки.

Распространенным подходом при разработке математической модели процесса намотки гибких материалов является использование в качестве ее аналога архимедовой спирали. Так, при анализе процесса намотки сновальных валов [5] использование такой модели для управления движением уплотняющего вала позволяет решить задачу контроля длины наматываемой основы, обеспечить наработку идентичных паковок и, таким образом, снять проблему угаров в процессе шлихтования.

Однако решение задачи значительно осложняется при осевой намотке ткани с заданной плотностью. Это связано с отсутствием воздействия уплотняющего вала, при этом управляющими координатами являются только натяжение ткани на входе рулона и ее линейная скорость.

Один из вариантов решения задачи реализован в устройстве [6], построенном на принципе измерения реального радиуса рулона и вычисления его на основе уравнения архимедовой спирали. Невязка этих двух параметров используется для управления натяжением ткани на входе рулона. В [7...10] представлена разработка математических моделей аналоговой и цифроаналоговой системы, реализующих указанный принцип управления намоткой.

Следует заметить, однако, что техническая реализация этих устройств связана с необходимостью измерения радиуса рулона. Контактный способ его измерения не позволяет получить высокую точность в связи с деформацией рулона в месте его контакта с измерительным роликом, а также по причине наличия низкочастотной помехи в измерительном канале, вызванной эксцентриситетом рулона и неточностью механики.

Известный бесконтактный способ измерения радиуса рулона, основанный на контроле длины наматываемого материала в пределах угла поворота рулона, равном одному радиану, требует измерения длины полотна. Используемые для этого контактные датчики длины с импульсными преобразователями не избавляют систему от погрешности контактного способа измерения. В этой связи остается актуальной задача поиска приемлемого для рассматриваемой системы бесконтактного, технически достаточно просто реализуемого устройства измерения длины транспортируемого материала.

Таким образом, процесс формирования рулона с заданной плотностью связан с решением задачи контроля его параметров и использованием полученной информации для управления натяжением наматываемого полотна.

В процессе намотки ткани в рулоне действуют два усилия, первое из которых обусловлено моментом вращения (моментом сдвига). Оно зависит от натяжения полотна на входе рулона и определяет тангенциальную составляющую давления витков. Второе связано с действием внешних слоев рулона, обусловленном наличи-

ем относительного удлинения материала. Оно направлено по радиусу рулона и создает радиальную составляющую давления.

В представленной на рис.1 функциональной схеме системы управления намоткой ткани электропривод ЭП1 ( $U_1$  – преобразователь,  $M_1$  – электродвигатель,  $i_1$  – редуктор) обеспечивает стабилизацию скорости  $v_1$  валковой пары 1, выдающей полотно на намотку. Электропривод ЭП2 обеспечивает формирование рулона в режиме регулирования текущего значения усилия  $F$  со стороны верхнего  $i$ -го слоя на внутренние слои, а также оптимизацию статических и динамических характеристик устройства намотки в условиях вариации радиуса намотки  $R$  и момента инерции  $J$  рулона.

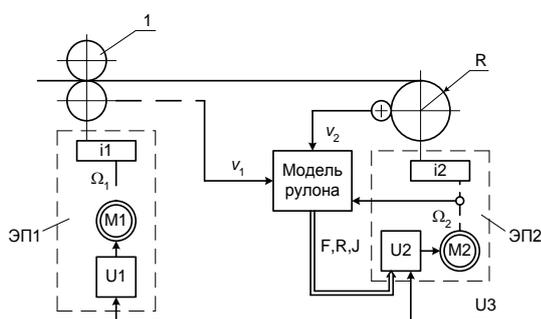


Рис.1

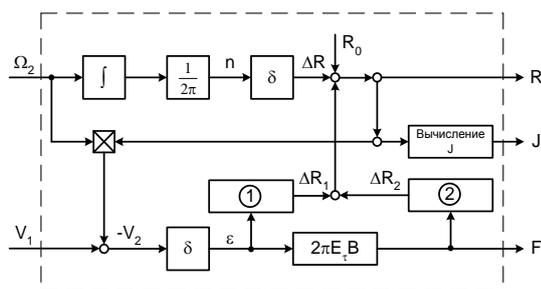


Рис.2

Схема математической модели рулона, представленная на рис. 2, иллюстрирует один из возможных ее вариантов. Здесь блоки 1 и 2 выполняют операцию вычисления составляющих приращения радиуса рулона  $\Delta R_1 = \varepsilon / \mu_r$ , обусловленных натяжением материала на его входе и его деформацией под действием сил давления верхнего слоя на нижележащие  $\Delta R_2 = F/E_r$ , где  $\mu_r$  – коэффициент Пуассона;  $E_r$  – радиальный модуль упругости.

На схеме  $\Delta R = n\delta$ ;  $E_r = E'_r \delta$ ;  $\delta$ , В – толщина и ширина ткани;  $E'_r$  – тангенциальный модуль упругости материала, приведенный к ее ширине;  $R_0$  – начальный радиус намотки;  $n$  – число оборотов рулона.

Микропроцессорная реализация рассмотренной системы управления позволяет обеспечить прогнозирование параметров рулона в процессе намотки.

## ВЫВОДЫ

1. В основу разработки математической модели процесса осевой намотки ткани может быть положено уравнение энергетического баланса составляющих потенциальной энергии, вносимой в рулон растянутым полотном.

2. Одной из главных задач при создании систем управления осевой намоткой ткани является разработка ориентированной на микропроцессорную реализацию математической модели процесса намотки, учитывающей внутреннее напряжение в рулоне, а также бесконтактных датчиков длины наматываемой ткани и радиуса рулона.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Эйдлин И.Я. Бумагоделательные и отделочные машины. – М.: Лесная промышленность, 1970.
2. Суриков В.И. Аналитическое исследование напряженного состояния ткани в рулоне // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1971, № 3. С. 154...157.
3. Суриков В.И. Экспериментальное исследование наматывания ткани на мерильно-накатной машине // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1971, №2. С. 143...146.
4. Глазунов В.Ф., Сидякин В.Ф., Куленко М.С. Разработка математической модели процесса формирования рулона ткани // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2001, № 5. С. 80...87.
5. Кутьин А.Ю., Кутьин Ю.К., Маховер В.Л. Новая технология формирования ткацкого навоя высокого качества // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2005, № 3. С. 43...45.
6. Патент РФ на полезную модель № 46484. Устройство для намотки ткани в рулон / Глазунов В.Ф., Соломаничев М.А. Приоритет от 10.07.2005 г.
7. Глазунов В.Ф., Соломаничев М.А. Математическая модель цифроаналоговой системы управления процессом намотки ткани // Изв. вузов. Техно-

логия текстильной промышленности. – 2006, № 3. С. 104...108.

8. Глазунов В.Ф., Соломаничев М.А. Математическое моделирование системы управления намоткой ткани // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2004, № 6. С. 105...109.

9. Глазунов В.Ф., Соломаничев М.А. Моделирование аналоговой системы управления намоткой с учетом изменения радиуса рулона // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2006, № 1. С. 104...109.

10. Глазунов В.Ф., Соломаничев М.А. Моделирование устройства стабилизации плотности намотки ткани // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2007, № 4. С. 82...85.

Рекомендована кафедрой электропривода и автоматизации промышленных установок. Поступила 03.04.08.