

## СИНТЕЗ ДВУХМЕРНОЙ МОДЕЛИ РЕЛАКСАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В РУЛОННОЙ ПАКОВКЕ ТКАНИ КАК В УПРУГОВЯЗКОЙ СИСТЕМЕ

### SYNTHESIS OF THE TWO-DIMENSIONAL MODEL OF RELAXATION PROCESSES IN FABRIC ROLL PACKAGE AS IN THE VISCOELASTIC SYSTEM

*И.Ю. КОПАНЕВ, Е.Н. КАЛИНИН*  
*I.YU. KOPANEV, E.N. KALININ*

(Ивановский государственный политехнический университет. Текстильный институт)  
(Ivanovo State Polytechnical University. Textile Institute)  
E-mail: ilya.kopanev@mail.ru

*В работе рассматривается двухмерная реологическая модель рулона текстильного материала как упруговязкой системы, представленной в форме механической цепи.*

*The paper considers a two-dimensional rheological model of a textile material roll as viscoelastic system presented in the form of a mechanical chain.*

**Ключевые слова:** процесс деформации текстильного полотна, релаксационные процессы, элементы трения и упругости, механическая цепь.

**Keywords:** the process of textile fabric deformation, relaxation processes, friction and elasticity elements, a mechanical chain.

При формировании рулона ткани основной задачей является регулирование натяжения полотна в процессе наматывания. Сложность задачи заключается в том, что напряженное состояние слоев паковки меняется по мере наматывания новых слоев, причем контролировать процесс состояния внутренних слоев в производственных условиях достаточно сложно.

Известные на настоящее время математические описания исследуемых процессов позволяют прогнозировать распределение натяжения слоев в зависимости от размеров паковки и глубины рассматриваемого слоя и величину нормального давления во внутренних слоях при различных значениях радиуса [1]. Однако упомянутые математические модели не обеспечивают возможность численного анализа релаксационных процессов, протекающих в теле намотки, при которых сформированный рулон сохраняет свои упругие характеристики и при которых не возникает радиальная деформация слоев рулона (гофры), нарушающая нормальные условия проте-

кания последующего технологического процесса из-за колебаний натяжения полотна, его положения относительно рабочих органов машины, вызывающая динамические нагрузки на опоры накатного вала как в процессе формирования рулона, так и при его раскатке.

Природу явления образования гофр можно объяснить уменьшением радиальной жесткости группы витков по причине релаксации касательных напряжений, определяемых величиной начального натяжения полотна, при котором формируется периферический виток рулона.

Релаксационные свойства полимерного материала воспроизводятся реологической моделью [2...6], состоящей из параллельного соединения материала Максвелла с элементом Гука, позволяющих более полно характеризовать поведение реального материала. Для анализа параметров взаимодействия текстильного материала с рабочими органами накатного устройства как динамической системы целесообразно представить ее концептуальную модель [7]

в форме механической цепи. Это дает возможность определения кинематических величин, характеризующих абсолютное и относительное перемещения элементов системы в принятой системе отсчета и воспринимаемые ей силы, а также возможность исследования их напряженно-деформированного состояния наиболее удобным методом, в котором уравнения движения системы можно записать исходя из топологии рассматриваемой механической цепи на основе законов Кирхгофа, и применить для анализа параметров механической цепи аппарат теории графов с формализованным и системным подходом к исследованию системы [8].

Рассмотрим синтезированную нами реологическую модель рулонной паковки в форме совокупности образующих ее и взаимодействующих между собой слоев согласно теории построения механических цепей [9] в виде совокупности соединенных между собой элементарных пассивных и активных двухполюсников, отражающих соответствующие свойства элементов устройства (упругие, диссипативные, инерционные и идеализированные источники силы и кинематических величин).

На рис. 1 изображена двумерная механическая цепь, отражающая свойства исследуемой системы, ассоциированные направления двухполюсников которой в плоскости  $ZOX$  выбраны одинаковыми для всех элементов относительно принятой системы отсчета. В рассматриваемой модели каждый  $i$ -й виток представлен в виде двух горизонтальных плеч, образованных параллельным соединением тел Максвелла  $c_i^{\tau/}, \eta_i^{\tau/}$  и элементов Гука  $c_i^{\tau//}$ . Напряжения растяжения  $\sigma_{ci}$ , возникающие в  $i$ -м витке рулона, обусловлены горизонтальными растягивающими усилиями  $P_{\tau}$ , задаваемыми в процессе формирования периферического витка, обусловленного величиной технологического натяжения полотна, что обеспечивает радиальную жесткость как его самого, так и некоторого слоя в рулонной паковке, состоящего из  $n$ -витков.

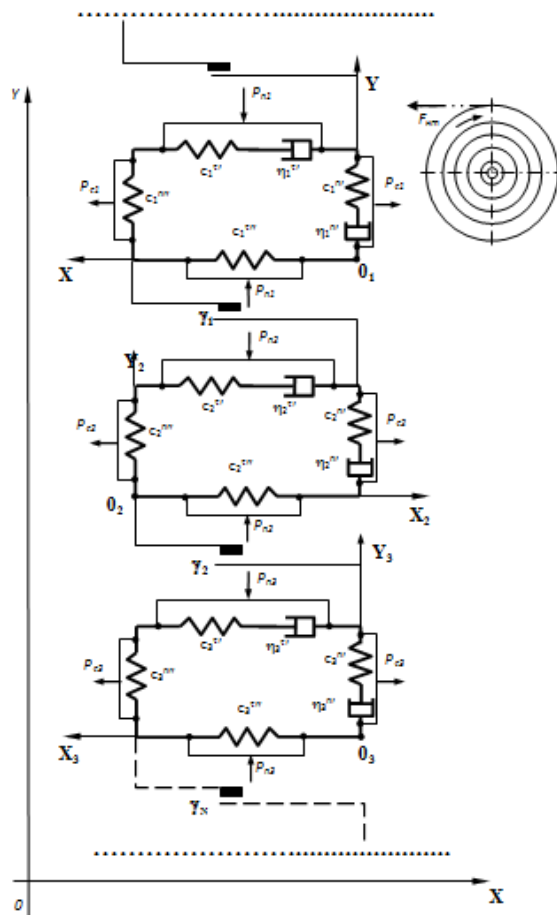


Рис. 1

Вертикальная пара плеч модели имеет аналогичную структуру, образованную элементами  $c_i^{n/}, \eta_i^{n/}$  и  $c_i^{n//}$ , в которых возникает напряжение сжатия  $\sigma_{ni}$ , обусловленное действием радиальной (нормальной) составляющей  $P_n$ .

Взаимодействие между поверхностями витков в слое смоделировано посредством элемента Сен-Венана  $\gamma_i$ , обладающего свойствами диссипативного элемента – демпфера сухого трения [4]. Наличие сил сопротивления, подобных сухому трению, придает материалам пластичность – способность деформироваться при умеренных усилиях и сохранять форму (остаточную деформацию) при малых усилиях. Пока тангенциальные силы  $P_{\tau}$ , приложенные к виткам, не превзойдут сил сухого трения  $F_{\text{тр}}$ , относительное движение витков будет отсутствовать. В случае относительного движения усилие, вызывающее это движение, равно силе трения.

Задачей полного анализа синтезированной нами механической цепи является определение всех кинематических величин, характеризующих абсолютное и относительное движение полюсов в принятой системе отсчета (полюсные переменные и переменные двухполюсников) и воспринимаемых элементами цепи сил. При этом ставится задача определения как величины, так и знака искомых величин. Определение знака относительных переменных двухполюсника эквивалентно знанию характера движения полюсов (сближение или удаление) и характера приложенных сил (сжимающие или растягивающие). Зная перечисленные выше параметры, можно определить другие величины – силы между узлами и функции цепей (коэффициенты передачи сил и кинематических величин, прямых и обратных параметров участков цепи) [7].

Основываясь на описании рассматриваемой структуры, можно сформулировать условия, способствующие образованию радиальной деформации единичного витка, а также и слоя, состоящего из  $n$ -витков.

Согласно нашим рассуждениям единичный виток, находящийся в сложнопятом состоянии, будет находиться в равновесии до тех пор, пока его поперечная жесткость, определяемая тангенциальными усилиями  $P_t$ , не будет преодолена нормальными силами  $P_n$ . При постоянстве  $P_n$  радиальная деформация единичного витка происходит по причине релаксации касательных напряжений  $\sigma_{ci}$ , а радиальная деформация слоя, состоящего из  $n$ -витков, происходит в случае, когда радиальная жесткость слоя, равная сумме радиальных жесткостей, образующих слой витков, преодолевается силой  $P_n$ . При этом нарушается равенство между тангенциальными силами  $P_t$  и силами  $F_{тр}$  сухого трения между витками. Таким образом, происходит явление радиальной деформации как единичного витка, так и критического слоя  $n$ -витков с образованием гофр в рулоне [10].

Входными параметрами для решения задачи являются следующие технологические параметры процесса формирования

рулонной паковки:

- натяжение полотна в процессе формирования рулона – натяжение, при котором формируется периферический виток;
- нормальное (радиальное) усилие прижима рулона к накатному валу;
- реологические (упруговязкие) параметры наматываемого в рулон полотна: коэффициенты упругости и вязкости, определяемые экспериментально;
- коэффициенты трения, определяющие возможность относительного перемещения витков в слое, а также слоев.

Приведенные соображения особенно актуальны в случае формирования паковки из композиционного материала, обладающего широким разбросом триботехнических свойств лицевой и изнаночной сторон полотна. Залогом успеха численного решения данной задачи является приведение системы дифференциальных уравнений равновесия к виду, пригодному для компьютерного моделирования и реализации алгоритма, основанного на ее изображении в форме Коши и процедуре приведения матриц коэффициентов к машинному виду. Тем самым достигается взаимосвязь с физическими переменными, и появляется возможность выражения переходной и передаточной функций системы с последующим полным ее анализом.

## В Ы В О Д Ы

1. Синтезирована двухмерная упруговязкая модель релаксационных процессов в рулонной паковке ткани как в упруговязкой системе, описывающей и учитывающей действия источников кинематических и динамических возмущений при взаимодействии технологической машины с текстильным материалом.

2. Установлена структурная взаимосвязь между элементами механической цепи, позволяющая синтезировать оптимальную по своим функциональным параметрам модель рулонной паковки как упруговязкую систему, и обеспечить на этапах анализа прогнозирование ее поведения в заданных технологических условиях.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Бегалко З.В., Живов С.В.* О расчете паковок рулонного типа // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1975, №1.

2. *Кукин Г.Н., Соловьев А.Н., Кобляков А.И.* Текстильное материаловедение. – М.: Легпромбыт-издат, 1992.

3. *Кобляков А.И.* Влияние среды на релаксацию деформации растяжения тканей // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1962, №6. С.80...82.

4. *Пальмов В.А.* Колебания упруго-пластических тел. – М.: Наука, 1976.

5. *Бартенев Г.М., Зеленев Ю.В.* Физика и механика полимеров. – М.: Легкая индустрия, 1983.

6. *Аскадский А.А.* Деформация полимеров. – М.: Легкая индустрия, 1973.

7. *Калинин Е.Н.* Концептуальная модель процесса взаимодействия валкового устройства с текстильным материалом // Изв. вузов. Технология

текстильной промышленности. – 2000, № 2. С.106...108.

8. *Калинин Е.Н.* Представление динамической системы "валковое устройство – текстильный материал" в форме механической цепи // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2000, № 5.

9. *Калинин Е.Н., Салов В.В., Константинов Е.С., Баженов С.М., Тарасов Н.В.* Синтез двухмерной модели упруговязкой системы механической усадки ткани // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2012, № 3. С. 133...136.

10. *Ульянов В.И.* Экспериментальное исследование процесса формирования рулона ткани // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1968, №4. С.36...40.

Рекомендована кафедрой системного анализа.  
Поступила 28.11.13.