

УДК 67.05:62–501.72

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ДЕФОРМАЦИИ  
ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ  
В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ  
ОБОРУДОВАНИЯ НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ**

**MODELING OF DEFORMATION PROCESSES  
OF TEXTILE MATERIALS IN SYSTEMS OF ELECTRIC DRIVES  
EQUIPMENT CONTINUOUS OPERATION**

*В.Ф. ГЛАЗУНОВ*  
*V.F. GLAZUNOV*

(Ивановский государственный энергетический университет)  
(Ivanovo State Power University)  
E-mail: office@ispu.ru

*В статье представлен обзор статических и динамических моделей деформации вязкоупругих текстильных материалов, ориентированных на использование их при разработке систем автоматизированных электроприводов текстильных машин.*

*В основу построения моделей положен процесс вытягивания транспортируемого рабочими органами машин материала, вязкоупругие свойства которого учитываются совокупностью элементов Фойгта-Кельвина.*

*The article presents an overview of static and dynamic models of deformation of viscoelastic textile materials-suitable for using in the development of automated systems of textile machines drives.*

*Process of a pulling of the material transported by working bodies of machines which viscoelastic properties are considered by set of elements of Foygta-Calvin is the basis for creation of models.*

**Ключевые слова:** текстильный материал, математическая модель, деформация, скорость, натяжение.

**Keywords:** textile material, mathematical model, deformation, speed, tension.

Последние достижения в области совершенствования технологий непрерывной обработки текстильных материалов, поз-

воляющих существенно повысить производительность оборудования и уменьшить его габариты, ужесточают требования к

системам электроприводов, обеспечивающих управление движением и деформацией материала в зоне обработки, что обуславливает необходимость обоснованного выбора при их проектировании его математической модели.

Особенностью процессов деформации длинномерных текстильных материалов, к которым относятся нить и ткань, является увеличение их коэффициента жесткости в динамических условиях нагружения. Это свойство, установленное профессором В.А. Гордеевым для нитей [1], указывает на вязкую составляющую деформации, пропорциональную скорости изменения длины материала. Однако выполненные за последнее время исследования позволяют говорить о необходимости уточнения такой модели [2], а также ее нелинейности [3], что объясняется, по-видимому, взаимодействием волокон нити в процессе деформации.

Не вызывает сомнений, что процесс деформации ткани носит более сложный характер, чем нити, так как зависит не только от деформационных свойств нити, но и их сложного взаимодействия в структуре ткани.

В общем случае ткань может рассматриваться как анизотропный вязкоупругий материал, математическая модель деформации которого может быть представлена последовательным соединением звеньев Фойгта-Кельвина [1], отражающих упругую, эластическую и пластическую составляющие полной деформации. Условные модули указанных составляющих учитываются соответствующими реологическими коэффициентами упругости и вязкости. При этом указанные коэффициенты, соответствующие пластической составляющей деформации, можно найти по результатам эксперимента путем аппроксимации кривой изменения пластической деформации во времени, а реологические коэффициенты упругости и вязкости, соответствующие модулям упругой и пластической деформаций, аппроксимацией кривой изменения полной деформации.

Приведенные в [4] экспериментальные и расчетные кривые деформации ткани

(миткаль-3) показывают существенную нелинейную зависимость от нагрузки реологических коэффициентов вязкости и упругости, соответствующие эластической деформации.

Более сложной представляется математическая модель процесса деформации транспортируемого под натяжением материала. В первом приближении его передаточная функция, учитывающая вязкоупругие свойства и связывающая операторные изображения натяжения материала с соотношением скоростей, смежных с участком деформации транспортирующих рабочих органов машины, представляется произведением двух передаточных функций, первая из которых отражает процесс вытягивания материала, а вторая – связь натяжения и относительного удлинения [5]. Недостатком такой модели является невозможность учета ограниченного пребывания вязкоупругого материала в зоне деформации, определяющего уровень натяжения.

В основу математической модели, учитывающей единство процессов движения и деформации вязкоупругого материала, может быть положена совокупность последовательно соединенных деформируемых в процессе движения элементарных участков, представленных элементами Максвелла [6] или Фойгта-Кельвина [7].

Так, анализ полученного в [7] соотношения для натяжения транспортируемого вязкоупругого материала в зоне деформации с постоянным соотношением скоростей на ее входе и выходе показывает увеличение натяжения материала с увеличением его модуля вязкости и скорости движения, что подтверждается экспериментальными исследованиями [8].

В этом случае статическая зависимость натяжения  $F$  материала от его параметров и параметров зоны деформации представляется в виде:

$$F = E \frac{L\varepsilon - \frac{\varepsilon_0 b (1 - \exp(-\alpha))}{E}}{L - \frac{b (1 - \exp(-\alpha))}{E}}, \quad (1)$$

где  $L$  – длина полотна в зоне деформации при  $\varepsilon = 0$ ;  $\varepsilon = \frac{\Delta v}{v}$ ,  $\Delta v = v_2 - v_1$ ,  $v_{1,2}$  – скорости материала на входе и выходе зоны деформации;  $E$  – модуль упругости материала;  $\varepsilon_0$  – относительное удлинение полотна на входе в зону деформации;  $\alpha = \frac{EL}{b}$ ;  $b = \frac{\eta v_2 (2 + \varepsilon)}{2(1 + \varepsilon)}$ ;  $\eta$  – модель вязкости материала.

Анализ динамической модели процесса деформации вязкоупругого транспортируемого материала, выполненный в [9] на основе метода теории распределенных систем, позволяет оценить соотношение параметров зоны деформации  $T = \frac{L}{v}$  и материала ( $\eta$ ,  $E$ ), при которых он может рассматриваться как упругое, вязкое или вязкоупругое звено. При этом натяжение материала в зоне деформации:

$$F(s) = \frac{E\Delta v(s)(\tau s + 1)^2}{L\tau s^2 + (L + v_2\theta T)s + v_2(1 - \theta)}. \quad (2)$$

Здесь

$$\tau = \frac{\eta}{E}, \quad \theta = \exp\left(\frac{-T}{\tau}\right), \quad T = \frac{L}{v_2}.$$

Скорость движения материала:

$$v(t) = v_1 + \Delta v \frac{1 - \exp\left(\frac{-t}{\tau}\right)}{1 + \exp\left(\frac{-T}{\tau}\right)}. \quad (3)$$

Ускорение вязкоупругого материала в зоне деформации может быть представлено также уравнением [10]:

$$\frac{dv(t)}{dt} = \zeta \frac{v(t) - v_1}{t}. \quad (4)$$

Здесь  $\zeta$  – коэффициент, характеризующий вязкоупругие свойства материала и определяемый экспериментально [8].

Анализ уравнения (3) показывает изменение мгновенной деформации материала по закону степенной функции, причем величина средней деформации уменьшается с увеличением модуля вязкости и скорости его движения.

В общем случае связь натяжения с относительным удлинением материала является нелинейной, что показывает гистерезис нагрузочных диаграмм ткани [11], проявляющейся в неполной управляемости процесса регулирования натяжения. В этом случае увеличение и уменьшение натяжения материала в процессе регулирования описываются уравнениями (2)...(4) [11].

Неполная управляемость процессом регулирования натяжения материала, обусловленная его нелинейными свойствами, ограничивает показатели быстродействия системы электропривода и может быть компенсирована использованием регуляторов с переменной структурой.

## ВЫВОДЫ

При выборе математической модели процесса деформации транспортируемого вязкоупругого материала в системе электропривода необходимо учитывать соотношение его параметров, длины в зоне деформации и скорости движения, а также требований к быстродействию системы электропривода.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Кукин Г.Н., Соловьев А.Н. Текстильное материаловедение. – М.: Легкая индустрия, 1964.
2. Савин О.А., Балабаев П.С. Новая модель диссипативных свойств текстильных материалов // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2011, № 1. С. 123...126.
3. Савин О.А., Балабаев П.С. Математическая модель нити с нелинейной жесткостью и ее апробация // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2010, № 6. С. 78...80.
4. Глазунов В.Ф., Александров В.П. О математическом моделировании вязкоупругих свойств ткани в условиях статического нагружения // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1981, № 2. С. 16...18.
5. Глазунов В.Ф., Спичков Ю.П., Красильников А.И. О некоторых особенностях моделирования трикотажного полотна в устройствах стабилизации

его натяжения // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1982, №4. С.71...75.

6. Барышников В.Д., Волков А.М., Королев В.И. Математическое описание многодвигательного электропривода производственного агрегата с учетом упругопластических свойств обрабатываемого материала // Межвуз. сб. научн. тр. – Иваново: Изд. ИвГУ, 1980. С. 3...9.

7. Глазунов В.Ф., Александров В.П. Особенности статической модели движущейся ткани с учетом ее вязкоупругих свойств // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1981, № 5. С. 62...67.

8. Глазунов В.Ф., Тарарыкин С.В., Спичков Ю.П., Бурков А.П. Исследование процесса деформации вязкоупругого полотна в зоне транспортирования // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1985, № 2. С. 78...82.

9. Глазунов В.Ф., Бурков А.П. Динамическая модель процесса деформации вязкоупругого транспортируемого материала // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1985, № 6. С. 66...71.

10. Глазунов В.Ф., Зиновьев Б.С. О деформации вязкоупругого транспортируемого полотна в зоне обработки // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1982, № 2. С. 13...16.

11. Тарарыкин С.В., Глазунов В.Ф., Спичков Ю.П., Чебаков О.В. Влияние нелинейных свойств транспортируемых ленточных материалов на качество регулирования натяжения // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1992, №2. С. 73...79.

#### REFERENCES

1. Kukin G.N., Solov'ev A.N. Tekstil'noe materialovedenie. – М.: Legkaja industrija, 1964.

2. Savin O.A., Balabaev P.S. Novaja model' dissipativnyh svojstv tekstil'nyh materialov // Izv. vuzov. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti. – 2011, № 1. S. 123...126.

3. Savin O.A., Balabaev P.S. Matematicheskaja model' niti s nelinejnoj zhestkost'ju i ee aprobacija // Izv. vuzov. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti. – 2010, № 6. S. 78...80.

4. Glazunov V.F., Aleksandrov V.P. O matematicheskom modelirovanii vjazkouprugih svojstv tkani v uslovijah staticheskogo nagruzhenija // Izv. vuzov. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti. – 1981, № 2. S. 16...18.

5. Glazunov V.F., Spichkov Ju.P., Krasil'nikov A.I. O nekotoryh osobennostjah modelirovanija trikotazhnogo polotna v ustrojstvah stabilizacii ego natjazhenija // Izv. vuzov. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti. – 1982, №4. S.71...75.

6. Baryshnikov V.D., Volkov A.M., Korolev V.I. Matematicheskoe opisanie mnogodvigatel'nogo jelektroprivoda proizvodstvennogo agregata s uchetom uprugoplasticheskikh svojstv obrabatyvaemogo materiala // Mezhvuz. sb. nauchn. tr. – Ivanovo: Izd. IvGU, 1980. S. 3...9.

7. Glazunov V.F., Aleksandrov V.P. Osobennosti staticheskoi modeli dvizhushhejsja tkani s uchetom ee vjazkouprugih svojstv // Izv. vuzov. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti. – 1981, № 5. S. 62...67.

8. Glazunov V.F., Tararykin S.V., Spichkov Ju.P., Burkov A.P. Issledovanie processa deformacii vjazkouprugogo polotna v zone transportirovanija // Izv. vuzov. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti. – 1985, № 2. S. 78...82.

9. Glazunov V.F., Burkov A.P. Dinamicheskaja model' processa deformacii vjazkouprugogo transportiruемого материала // Izv. vuzov. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti. – 1985, № 6. S. 66...71.

10. Glazunov V.F., Zinov'ev B.S. O deformacii vjazkouprugogo transportiruемого полотна v zone obrabotki // Izv. vuzov. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti. – 1982, № 2. S. 13...16.

11. Tararykin S.V., Glazunov V.F., Spichkov Ju.P., Chebakov O.V. Vlijanie nelinejnyh svojstv transportiruемых lentochnyh materialov na kachestvo regulirovanija natjazhenija // Izv. vuzov. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti. – 1992, № 2. S. 73...79.

Рекомендована кафедрой электропривода и автоматизации промышленных установок. Поступила 27.10.14.