

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВОССТАНОВЛЕНИЯ ТКАНИ ПОСЛЕ ИЗГИБА

С.В. БОЙКО, Н.А. СМЕРНОВА, В.В. ЗАМЫШЛЯЕВА, В.В. ЛАПШИН

(Костромской государственный технологический университет)  
E-mail: info@kstu.edu.ru

*В статье предложен расчетный метод определения показателей свойств тканей в процессе ее восстановления после изгиба.*

*The settlement method of the definition of fabric properties indicators in the process of its restoration after bending is offered in the article.*

**Ключевые слова:** изгиб, туше, восстановление, моделирование.

О потребительских свойствах тканей судят в основном по органолептической оценке эксперта, называемой туше. Туше ткани (от французского слова "трогать") – свойство ткани, связанное с впечатлением, складывающимся от ткани при пробе на ощупь: жесткая, мягкая, шелковистая, упругая и др. Отмеченные характеристики туше могут быть связаны со свойствами ткани, поддающимися измерению [1]. К таким свойствам относятся жесткость на изгиб, упруго-эластические свойства [2].

Для определения свойств текстильных материалов в динамических условиях эксплуатации разработан метод и автоматизированное устройство для его реализации [3]. Метод позволяет оценить результаты распрямления ткани после изгиба [4]. Пробу ткани прямоугольной формы (10x20 мм) одним концом механически фиксируют, а другим концом закрепляют в специальном зажиме так, чтобы он принял форму полуцилиндра вокруг оправки (рис. 1 – схема восстановления пробы после изгиба).

После снятия изгибающего усилия оценивают способность ткани к восстановлению формы после изгиба по показателям: коэффициент жесткости, определяемый по периоду свободных затухающих колебаний, остаточный угол – угол наклона от прямолинейного положения. Однако упругие свойства, определяемые временем раскрытия пробы ткани, оцениваются недостаточно объективно.

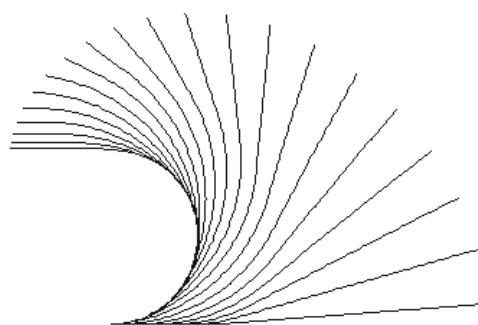


Рис. 1

Экспериментальные исследования показали, что различные ткани при восстановлении после изгиба проходят разный путь и не все пробы возвращаются в исходное положение, о чем свидетельствуют значения остаточного угла. С целью изыскания более объективной характеристики оценки упругих свойств при динамических испытаниях осуществлено моделирование процесса восстановления ткани после изгиба.

Моделирование процесса восстановления ткани после изгиба, оценки скорости и характера восстановления представляет интерес для прогнозирования поведения материалов при выполнении технологических операций изготовления одежды (изгиб деталей и швейных изделий) и ее эксплуатации (неопорные участки одежды).

Для решения поставленной задачи представим пробу (полоску ткани) массы  $m$  и длины  $l$  как  $N$  прямолинейных жестких стержней с равномерно распределенной массой, соединенных шарнирами и

упругими элементами, препятствующими их повороту относительно друг друга (рис. 2 – модель пробы).

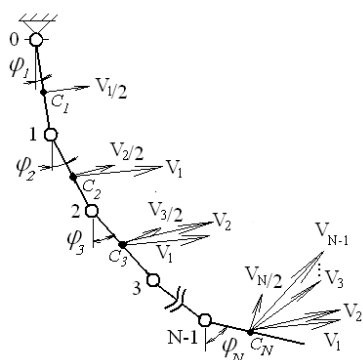


Рис. 2

Жесткость упругих элементов  $k$  (Н·м/рад) определим из условия равенства прогиба консольной балки с изгибной жесткостью  $EJ$ , равной жесткости образца ткани, длиной, равной длине стержневого элемента модели, и прогиба абсолютно жесткого консольного стержня с упругим элементом:

$$k = \frac{3EJN}{\ell}.$$

Уравнения движения модели пробы получим из уравнений Лагранжа 2-го рода, выбрав в качестве обобщенных координат углы поворота стержневых элементов  $\phi_i$ .

$$([M] \cos[\Delta\phi])[\ddot{\phi}] = -([M] \sin[\Delta\phi])[\dot{\phi}^2] - \frac{kN^3}{m\ell^2}[K][\phi], \quad (3)$$

где  $[\phi]$ ,  $[\dot{\phi}]$ ,  $[\ddot{\phi}]$  – векторы углов поворота, угловых скоростей и угловых ускорений стержневых элементов модели соответственно:

$$[M] = \begin{bmatrix} N-i+\frac{1}{3} & \dots & N-i+\frac{1}{2} & \dots & \frac{3}{2} & \frac{1}{2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ N-i+\frac{1}{2} & \dots & N-i+\frac{1}{3} & \dots & \frac{3}{2} & \frac{1}{2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{3}{2} & \frac{3}{2} & \frac{3}{2} & \dots & \frac{1}{3} & \frac{1}{2} \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & \dots & \frac{1}{2} & \frac{1}{3} \end{bmatrix}$$

Вычислим кинетическую энергию системы. Она равна сумме кинетических энергий  $N$  стержневых элементов. Кинетическая энергия каждого  $i$ -го стержня равна

$$T_i = \frac{1}{2}(J_C \dot{\phi}_i^2 + m v_{C_i}^2), \quad (1)$$

где  $J_C = m\ell^2/12$  – момент инерции стержня, относительно оси, проходящей через его центр масс,  $v_{C_i}$  – сумма вектора вращательной скорости точки центра масс  $C_i$  относительно  $i$ -й шарнирной точки и векторов скоростей всех шарнирных точек  $V_j = \dot{\phi}_j \ell$  с номерами  $j < i$ . (рис. 2).

Потенциальная энергия этой системы равна:

$$\Pi = \frac{1}{2} k \sum_{i=1}^N (\phi_i - \phi_{i-1})^2. \quad (2)$$

Зная кинетическую и потенциальную энергию системы, записали для нее уравнения Лагранжа второго рода, в результате анализа которых были выявлены закономерности формирования коэффициентов системы. В итоге получили систему сильно нелинейных дифференциальных уравнений второго порядка, которая в матричном представлении имеет вид:

$$[K] = \begin{bmatrix} 2 & -1 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ -1 & 2 & -1 & 0 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & -1 & 2 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 \end{bmatrix}$$

$$[\Delta\phi] = \begin{bmatrix} \phi_1 - \phi_1 & \phi_2 - \phi_1 & \dots & \phi_N - \phi_1 \\ \phi_1 - \phi_2 & \phi_2 - \phi_2 & \dots & \phi_N - \phi_2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \phi_1 - \phi_N & \phi_2 - \phi_N & \dots & \phi_N - \phi_N \end{bmatrix}$$

Систему решили численным методом переменного порядка Адамса–Бэшфорта–Милтона, являющимся особенно эффектив-

ным для нежестких систем дифференциальных уравнений, правые части которых вычисляются по сложным формулам. Программирование было осуществлено в среде Mat-Lab с относительной точностью вычислений  $10^{-3}$  [5]. В результате появилась возможность теоретически определять кинематические параметры пробы ткани, в том числе длину пути и скорость концевой свободной участка в процессе "раскрытия" пробы, а также анализировать влияние жесткостных и массовых характеристик пробы на ее кинематические и динамические параметры (рис. 3 – положение пробы в процессе раскрытия). При  $N=60$  относительное отклонение экспериментально и теоретически определенной скорости концевой свободной участка пробы в процессе ее "раскрытия" составило не более 2%, периода свободных колебаний – менее 1%.

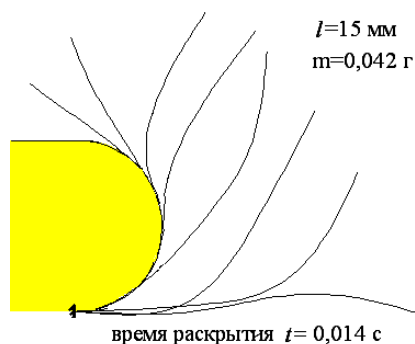


Рис. 3

Возможность прогнозирования динамических свойств в процессе восстановления после изгиба позволяет определить ряд показателей, характеризующих туше тканей, и является основой для выбора рационального конструктивного решения одежды. Так, например, большая скорость восстановления ткани после изгиба свидетельствует о высокой формоустойчивости швейных изделий в процессе эксплуатации.

Расчетный метод определения свойств ткани в динамических условиях эксплуатации позволяет расширить информативность показателей потребительских и технологических свойств материалов для

одежды и научно обоснованно выбирать их для изделий.

## ВЫВОДЫ

1. Предложен расчетный метод определения показателей свойств тканей в динамических условиях эксплуатации: скорости и времени восстановления после изгиба, а также длины пути, совершаемого концевым свободным участком пробы в процессе ее "раскрытия".

2. Показатели динамических свойств позволяют прогнозировать формоустойчивость швейных изделий в процессе эксплуатации, обоснованно подходить к конфекционированию материалов и являются основой для выбора рационального конструктивного решения одежды.

3. В результате моделирования процесса восстановления пробы после изгиба показана возможность определения влияния жесткости и поверхностной плотности ткани на ее динамические свойства.

## ЛИТЕРАТУРА

1. The objective specification of the handle of men's suiting materials / A comparison of fabric handle assessments in India, Australia, Japan and New Zealand / Dhingra R.C., Mahar T. J., Postle R., Gupta V. B., Kawabata S., Niwa M., Carnaby G.A. // *Indian Text. J.* – N1, 1983. P. 9...15.

2. Кесвелл Р. Текстильные волокна, пряжа и ткани. – М., 1960.

3. Смирнова Н.А., Лапшин В.В., Воронова Л.В., Анфиногенов Д.С., Смирнов А.В. Способ определения релаксационных характеристик текстильных материалов после изгиба: Патент РФ на изобретение № 2217747 от 27.11.2003.

4. Смирнова Н.А., Лапшин В.В. Определение свойств текстильных материалов в динамических условиях эксплуатации // *Технический текстиль.* – 2003, №5. С. 8...11.

5. Шампайн Л. Ф., Гладвел И., Томпсон С. Решение обыкновенных дифференциальных уравнений с использованием MATLAB: Учебное пособие. – 1-е изд. – СПб.: Лань, 2009.

Рекомендована кафедрой технологии и материаловедения швейного производства. Поступила 14.01.10.