

УДК 620.1:667.1  
DOI 10.47367/0021-3497\_2021\_1\_37

**ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ  
ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ИЗГИБА  
ТЕКСТИЛЬНЫХ ПОЛОТЕН В ДИНАМИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ ИСПЫТАНИЙ**

**THEORETICAL JUSTIFICATION  
FOR DETERMINING THE BENDING CHARACTERISTICS  
OF TEXTILE FABRICS UNDER DYNAMIC TEST CONDITIONS**

*В.В. ЛАПШИН, Н.А. СМІРНОВА, В.В. ЗАМЫШЛЯЕВА*

*V.V. LAPSHIN, N.A. SMIRNOVA, V.V. ZAMYSHLAEVA*

**(Костромской государственной университет)**

**(Kostroma State University)**

E-mail: vlv1000@mail.ru

*В статье приведено теоретическое обоснование определения характеристик текстильных полотен при восстановлении после изгиба, полученных на автоматизированной системе, реализующей динамический характер испытаний. Предложено рассчитывать характеристики изгиба по экспериментальной кривой свободных затухающих колебаний консольно закрепленной пробы после изгиба.*

*The article provides a theoretical justification for determining the characteristics of textile fabrics during recovery after bending, obtained on an automated system that implements the dynamic nature of tests. It is proposed to calculate the bending characteristics from the experimental curve of free damped vibrations of a cantilevered sample after bending.*

**Ключевые слова:** текстильные полотна, характеристики изгиба, динамические условия испытаний.

**Keywords:** textile fabrics, bending characteristics, dynamic test conditions.

Отсутствие стандартных методов определения характеристик изгиба текстильных полотен в динамических условиях испытаний затрудняет обоснованный выбор материалов и не позволяет прогнозировать поведение изделий в условиях эксплуатации. Стандартный метод (ГОСТ 10550–93) определения характеристик изгиба реализует статический характер испытаний.

Для получения полной картины о деформационных процессах, происходящих в ткани при изгибе, необходимо изучить процесс восстановления ткани после изгиба и обосновать характеристики. В процессе совершения человеком различных видов движений материалы одежды изгибаются, и от того, насколько быстро и в какой степени восстановится форма деталей, зависит формоустойчивость изделия.

Известный метод вынужденных резонансных изгибных колебаний консольно закрепленной пробы позволяет определить характеристики изгиба материалов в динамическом режиме [1]. Однако недостатками резонансных испытаний является трудность определения амплитудно-частотной характеристики (используется микроскоп), что вносит субъективную составляющую в процесс измерений, отсутствие автоматизированной записи и обработки результатов экспериментов (графики АЧХ строятся вручную), что снижает информативность и достоверность полученных результатов.

В результате использования разработанной автоматизированной системы реализован запатентованный авторами метод [2], который моделирует реальный процесс деформирования материалов при эксплуатации, так как позволяет оценить кинетику распрямления пробы после изгиба и возможность графической записи экспериментальной кривой свободных затухающих изгибных колебаний материалов (рис.1).

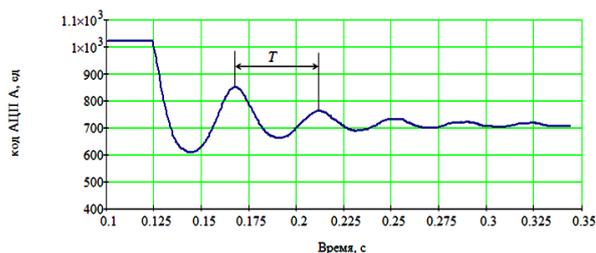


Рис. 1

Для теоретического обоснования определения характеристик жесткости и упругости при изгибе текстильных полотен в динамических условиях испытаний использовано общеизвестное уравнение свободных колебаний консольно закрепленного стержня без учета потерь на диссипацию:

$$\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} + c^2 \frac{\partial^4 y}{\partial x^4} = 0, \quad (1)$$

где  $x$  – координата стержня;  $y$  – прогиб в сечении  $x$ ;  $c$  – скорость распространения по стержню волны деформации.

Общее решение уравнения:

$$y(x, t) = \varphi(x) \sin(\omega t + \alpha), \quad (2)$$

где  $\varphi(x)$  – функция, описывающая форму колебаний;  $\omega$  – круговая собственная частота колебаний;  $\alpha$  – начальная фаза.

Функция  $\varphi(x)$  в общем случае представляет собой сумму тригонометрических и гиперболических косинуса и синуса с коэффициентами, определяемыми из краевых условий. Величины частот собственных колебаний также определяются краевыми условиями.

Круговая частота собственных поперечных колебаний консольно закрепленных проб выражается общей формулой:

$$\omega = \frac{\lambda^2}{\ell^2} \sqrt{\frac{E_n J}{m}}, \quad (3)$$

где  $\ell$  – длина незакрепленной части пробы материала, м;  $\lambda$  – коэффициент для первой собственной частоты ( $\lambda = 1,875$ );  $E_n$  – модуль упругости на изгиб МПа;  $J$  – момент инерции поперечного сечения материала,  $m^4$ ,  $J = bh^3/12$ ;  $b$  – ширина пробы, м;  $h$  – толщина пробы, м;  $m$  – масса погонного метра материала, кг/м,  $m = \rho bh$ ;  $\rho$  – плотность материала кг/м<sup>3</sup>.

Используя соотношение (4) собственной частоты  $f$ , Гц, и круговой  $\omega$ :

$$f = \frac{\omega}{2\pi}, \quad (4)$$

получаем уравнение первой собственной частоты поперечных колебаний консольно закрепленных проб:

$$f = 0,161 \frac{h}{\ell^2} \sqrt{\frac{E_n}{\rho}}, \quad (5)$$

где  $\sqrt{\frac{E_n}{\rho}} = c$  – характеристика материала,

определяемая скоростью распространения упругих колебаний;  $\ell$  – длина пробы, м.

Важной характеристикой упругости при изгибе является модуль упругости, определяемый при свободных колебаниях консольно закрепленных проб, который рас-

считывается по формуле, полученной из уравнения (5):

$$E_n = \frac{\ell^4 \rho}{0,161^2 h^2} f^2, \quad (6)$$

где собственная частота  $f = 1/T$  свободных колебаний вычисляется через период ( $T$ , с) затухающих колебаний консольно закрепленной пробы.

Период  $T$  определяется по экспериментальной кривой свободных затухающих колебаний (рис.1).

Фактором, влияющим на величину диссипации, является площадь колеблющейся пробы. Площадь пробы 150 мм<sup>2</sup>, что обеспечивает минимальное влияние сопротивления воздуха. Рабочие размеры пробы 10x15 мм, что согласуется с ранее проведенными теоретическими и экспериментальными исследованиями [3].

Другой характеристикой изгиба материала является жесткость, определяемая формулой

$$D_n = E_n J. \quad (7)$$

Варьируя характеристиками изгиба, изменяющимися в довольно широких пределах для одной ассортиментной группы (табл.1), осуществляется рациональный выбор костюмных тканей в соответствии с эскизом изделия.

Таблица 1

Характеристики изгиба	Ткани								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Модуль упругости $E_n$ , МПа	1,24	1,6	1,14	2,12	3,78	2,67	1,89	1,87	3,69
Жесткость $D_n \cdot 10^{-5}$ Н·м <sup>2</sup>	1,04	1,34	0,95	3,44	5,99	3,06	2,85	1,92	5,91
Ткань 1 – камвольная, мелкоузорчатого переплетения, $M_s=269$ г/м <sup>2</sup> , $T_o=35,5$ , $T_y=43$ , $P_o=380$ , $P_y=268$									
Ткань 2 – камвольная, мелкоузорчатого переплетения, $M_s=226$ г/м <sup>2</sup> , $T_o=34,5$ , $T_y=39$ , $P_o=314$ , $P_y=268$									
Ткань 3 – камвольная, мелкоузорчатого переплетения, $M_s=245$ г/м <sup>2</sup> , $T_o=44,5$ , $T_y=47,5$ , $P_o=256$ , $P_y=244$									
Ткань 4 – льняная, мелкоузорчатого переплетения, $M_s = 269$ г/м <sup>2</sup> , $T_o = 99,5$ , $T_y=58,5$ , $P_o=161$ , $P_y=172$									
Ткань 5 – льняная, полотняного переплетения, $M_s = 292$ г/м <sup>2</sup> , $T_o = 104$ , $T_y = 118,5$ , $P_o = 141$ , $P_y = 100$									
Ткань 6 – льняная, полотняного переплетения, $M_s = 227$ г/м <sup>2</sup> , $T_o = 62$ , $T_y = 103$ , $P_o = 165$ , $P_y = 119$									
Ткань 7 – льняная, мелкоузорчатого переплетения, $M_s = 220$ г/м <sup>2</sup> , $T_o = 100$ , $T_y = 130$ , $P_o=130$ , $P_y=112$									
Ткань 8 – льняная, полотняного переплетения, $M_s = 180$ г/м <sup>2</sup> , $T_o = 56$ , $T_y = 56$ , $P_o = 180$ , $P_y = 135$									
Ткань 9 – льняная, полотняного переплетения, $M_s = 280$ г/м <sup>2</sup> , $T_o = 103$ , $T_y = 103$ , $P_o = 150$ , $P_y = 120$									

Возможность реализации динамического характера испытаний на изгиб костюмных тканей позволяет обоснованно

подойти к выбору конструктивного решения швейного изделия, комфортного в эксплуатации.

## ВЫВОДЫ

1. Теоретически обоснованы характеристики жесткости и модуля упругости при изгибе текстильных полотен в динамических условиях испытаний.

2. Показана возможность выбора тканей по экспериментальным результатам характеристик изгиба для изделий костюмной группы.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Белокуров В.Н., Бочаров В.Г., Лапшин В.В. Определение показателей деформации льняных тканей // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2007, №4. С. 9...10.

2. Лапшин В.В., Смирнова Н.А. Автоматизированный измерительный комплекс как реализация концепции цифровизации в легкой промышленности. – Кострома: Изд-во Костром. гос. ун-та, 2019.

3. Жихарев А.П. Теоретические основы и экспериментальные методы исследования для оценки качества материалов при силовых, температурных и

влажностных воздействиях. – М.: ИИЦ МГУДТ, 2003.

## REFERENCES

1. Belokurov V.N., Bocharov V.G., Lapshin V.V. Opredelenie pokazateley deformatsii l'nyanykh tkaney // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 2007, №4. S. 9...10.

2. Lapshin V.V., Smirnova N.A. Avtomatizirovannyy izmeritel'nyy kompleks kak realizatsiya kontseptsii tsifrovizatsii v legkoy promyshlennosti. – Kostroma: Izd-vo Kostrom. gos. un-ta, 2019.

3. Zhikharev A.P. Teoreticheskie osnovy i eksperimental'nye metody issledovaniya dlya otsenki kachestva materialov pri silovykh, temperaturnykh i vlazhnostnykh vozdeystviyakh. – M.: ITs MGUDT, 2003.

Рекомендована кафедрой дизайна, технологии, материаловедения и экспертизы потребительских товаров. Поступила 20.11.20.