

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОЛНОВЫХ ПРОЦЕССОВ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СВОЙСТВ ОДЕЖНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ДЕФОРМАЦИИ ИЗГИБА

<sup>1</sup> Дремлюга О.А., <sup>1</sup> Шеромова И.А., <sup>2</sup> Железняков А.С.

<sup>1</sup>Владивостокский государственный университет экономики и сервиса, г. Владивосток, Россия (690014, г. Владивосток, ул. Гоголя, 41), e-mail: Olga.Dremlyuga@vvsu.ru

<sup>2</sup>Новосибирский технологический институт (филиал) Московского государственного университета дизайна и технологии, г. Новосибирск, Россия (630073, г. Новосибирск, Красный пр., 35), e-mail: gas@ntimgudt.ru

Статья посвящена обоснованию возможности применения параметров механических колебаний для оценки физико-механических свойств волокнистых материалов при деформации изгиба. Объектом исследования являются экспресс-методы определения показателей жесткости и драпируемости текстильных полотен, базирующиеся на использовании волновых процессов. Цель работы – автоматизация процесса и повышение точности определения искомых параметров свойств одежных материалов. Для достижения поставленной цели в работе решен комплекс задач, связанных с анализом существующих методов и технических средств, выявлением и теоретическим обоснованием потенциально возможных путей решения поставленной проблемы, разработкой новых патентоспособных технологических и технических решений для оценки жесткости и драпируемости одежных материалов. В результате проведенных исследований предложены методы исследования характеристик свойств материалов при деформации изгиба и технические устройства для их реализации, обеспечивающие возможность приблизить условия проведения эксперимента к реальным условиям эксплуатации изделий, автоматизировать процесс исследования и повысить точность получаемых результатов. Кроме того, предлагаемые решения обеспечивают расширение технологических возможностей и повышение гибкости процедуры процесса исследования с возможностью формирования электронных баз данных, а также открывают возможности создания алгоритмических манипуляторов для исследования жесткости и драпируемости разного вида одежных материалов.

Ключевые слова: материалы для одежды, жесткость при изгибе, драпируемость, волновые процессы, механические колебания, методы исследования свойств, прибор для исследования свойств материалов

## APPLYING OF WAVE PROCESSES TO ASSESSMENT OF THE PHYSICAL PROPERTIES OF CLOTHING MATERIALS IN BENDING STRAIN

<sup>1</sup>Dremlyuga O.A., <sup>1</sup>Sheromova I.A., <sup>2</sup>Zheleznyakov A.S.

<sup>1</sup>Vladivostok State University of Economics and Service, Vladivostok, Russia (690014, Vladivostok, Gogolya street, 41), e-mail: Olga.Dremlyuga@vvsu.ru

<sup>2</sup>Novosibirsk Technological Institute of Moscow State University of Design and Technology, Novosibirsk, Russia (630073, Novosibirsk, Red ave., 35), e-mail: gas@ntimgudt.ru

The article is devoted to the justification of the possibility of applying the parameters of mechanical vibrations to assessment of the physical and mechanical properties of fibrous materials in bending strain. The object of the study are rapid methods for determining the parameters of stiffness and drapeability of textile based on the use of wave processes. Purpose of research - to automation of the process and improve the accuracy of determining the properties of the parameters of clothing materials. Authors achieved this goal by the solution of the complex tasks associated with analysis of existing methods and techniques, and theoretical basis for the identification of potential solutions to a given problem, the development of new patentable technological and technical solutions for the evaluation of stiffness and drapeability of clothing materials. The studies propose methods for investigating the characteristics of the properties of materials under bending strain, and suggest technical devices for their implementation, it is possible to bring the conditions of the experiment to the real conditions of operation of products, automatize the research process and improve the accuracy of the results. In addition, the proposed solution provides advanced technological capabilities and increasing the flexibility of the procedure of the research process to generate digital databases, as well as allow to create algorithmic manipulators for research rigidity and drapeability of different kind clothing materials.

Keywords: clothing materials, resistance to blend, drapeability, wave processes, mechanical vibrations, properties research methods, the device for research of properties of materials

При оценке качества одежды показатели свойств, оказывающих на человека эмоциональное или эргономическое воздействие, определяются в основном эвристическими методами, что не позволяет с высокой точностью получать информацию для прогнозирования стабильности проектных параметров готовых швейных изделий в процессе эксплуатации. Для обеспечения сохраняемости потребительских свойств готового изделия на этапе его эксплуатации необходимо с требуемой достоверностью определять перечень его качественных характеристик, зависящих во многом от фактических показателей свойств одежных материалов, устанавливаемых соответствующими стандартами и другими нормативными документами. В перечне свойств, влияющих на внешний вид, размерную точность и формоустойчивость швейных изделий, одно из значимых мест занимают характеристики механических свойств материалов при деформации изгиба, прежде всего жесткость и драпируемость.

К наиболее существенным недостаткам существующих методов и устройств для исследования характеристик свойств материалов при деформации изгиба можно отнести следующие: технологические сложности и значительную продолжительность проведения испытания; практическую невозможность автоматизированного формирования базы данных на электронных носителях информации; несоответствие условий проведения испытаний реальным условиям эксплуатации изделий. Все это предопределяет необходимость поиска новых технологических и технических решений для исследования драпируемости одежных материалов и их жесткости при изгибе.

**Цель статьи** заключается в автоматизации процесса и повышении точности определения жесткости и драпируемости одежных материалов – одних из важнейших характеристик конструкторско-технологических свойств материалов, обеспечивающих выполнение эргономических требований к швейным изделиям.

### **Материал и методы исследований**

Объектом исследования статьи являются методы оценки жесткости и драпируемости одежных материалов и технические решения для их реализации. В работе использовались общетеоретические методы научных исследований и общинженерные подходы к разработке технических решений испытательного оборудования.

### **Результаты исследования и их обсуждение**

Практика использования различных физических эффектов для исследования деформационных свойств волокнистых материалов [5] показывает достаточную эффективность применения волновых процессов в данной области.

На первоначальном этапе исследований рассмотрены теоретические предпосылки разработки инструментальных экспресс-методов определения жесткости и драпируемости

текстильных полотен на основе использования параметров механических колебаний в качестве информативных при определении характеристик свойств материалов при деформации изгиба. С этой целью в теоретических исследованиях был рассмотрен плоский однородный образец полотна, находящийся под натяжением и закрепленный на конечных срезах. Материал некоторым образом нагружен и сохраняет свое натяжение  $F_n$ . Когда на малом участке образца  $\Delta l$  создается поперечное смещение ( $\xi$ ), изменяющееся со временем по закону синуса, то деформация передается от участка  $\Delta l$  к другим элементам образца. В результате возникают две волны, распространяющиеся в противоположных направлениях. После отражения от закрепленных концов образца волны будут двигаться навстречу друг другу [7]. Наступает суперпозиция двух бегущих поперечных волн, в результате чего на образце устанавливается стоячая волна (рис. 1).

Если предположить, что бегущие поперечные волны являются синусоидальными, то они описываются следующими уравнениями.

Прямая волна (распространяется в положительном направлении  $x$ ):

$$\xi_1 = A \cos\left(\omega t - \frac{2\pi}{\lambda} x\right), \quad (1)$$

обратная волна (распространяется в противоположном направлении оси  $x$ ):

$$\xi_2 = A \cos\left(\omega t + \frac{2\pi}{\lambda} x + \varphi\right), \quad (2)$$

где  $A$  — амплитуда волны генерируемых колебаний,  $\omega = 2\pi/T$  — круговая частота,  $\lambda$  — показатель длины волны,  $K = \frac{2\pi}{\lambda}$  — волновое число,  $\varphi$  — разность фаз колебаний для прямой и обратной волны.

Скорость распространения ( $V_0$ ) синусоидальных волн связана с другими характеристиками такими соотношениями, как:

$$V_0 = \frac{\omega}{K} = \frac{\lambda}{T} = \lambda \nu. \quad (3)$$

Величина  $V_0$  в образце определяется не частотой или длиной волны, а параметрами упругой среды, и зависимость имеет следующий вид:

$$V_0 = \sqrt{\frac{F_n}{\rho S}}, \quad (4)$$

где  $F_n$  — сила натяжения образца,  $\rho$  — линейная плотность,  $S$  — площадь сечения образца материала.

Материал, закрепленный на обоих концах, ограничивает распространение бегущих волн. В точках закрепления  $x = 0$  и  $x = l$  волны отражаются, имея в этих точках смещение  $\xi$ , равное нулю. А в точках, лежащих в интервале  $0 < x < l$ , смещение равно алгебраической сумме смещений, создаваемых прямой и обратной волной (см. рис. 1), следовательно:

$$\xi = \xi_1 + \xi_2 \quad (5)$$

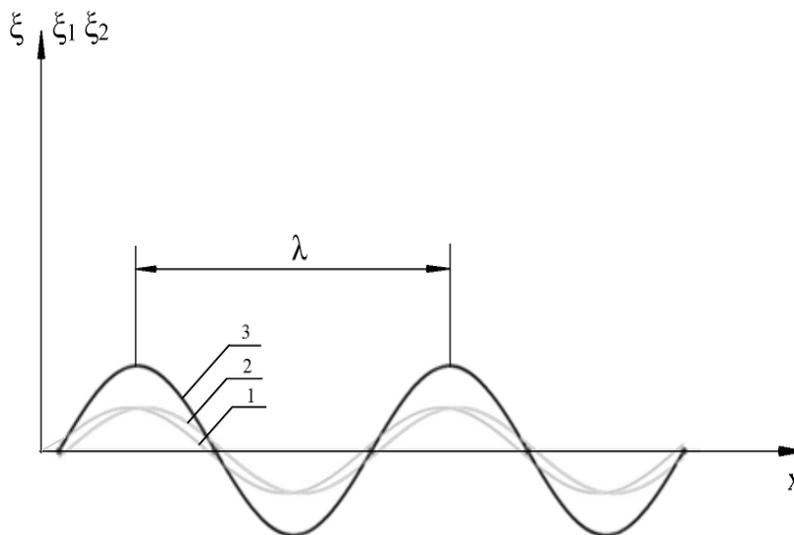


Рис. 1. Суперпозиция двух бегущих поперечных волн и установившаяся стоячая поперечная волна: 1, 2 — бегущие волны, 3 — стоячая волна

Используя уравнения (1 и 2), после элементарных преобразований получим:

$$\xi = 2A \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda} + \frac{\varphi}{2}\right) \cdot \cos\left(\omega t + \frac{\varphi}{2}\right). \quad (6)$$

Уравнение (6) должно удовлетворять так называемым краевым условиям. Рассмотрим вначале условие, согласно которому смещение равно нулю при  $x = 0$  для любого момента времени:

$$\xi(0, t) = 2A \cos\frac{\varphi}{2} \cdot \cos\left(\omega t + \frac{\varphi}{2}\right) = 0. \quad (7)$$

Из этого заключаем, что  $\cos\frac{\varphi}{2} = 0$ , следовательно,  $\frac{\varphi}{2} = \frac{\pi}{2}$ . Подставив значение  $\frac{\varphi}{2}$  в уравнение (7) и заменив функцию косинуса на синус, получим уравнение стоячей волны в виде:

$$\xi(x, t) = 2A \sin\frac{2\pi}{\lambda} x \cdot \sin \omega t. \quad (8)$$

Из уравнения (8) следует, что в каждой точке образца происходят колебания одной и той же частоты (той же, что и бегущей волны), но различной амплитуды. Амплитуда стоячей волны  $B$  определяется как модуль сомножителей, не зависящих от времени, именно:

$$B = \left| 2A \sin \frac{2\pi}{\lambda} x \right| \quad (9)$$

Отличие поперечной бегущей волны и поперечной стоячей волны иллюстрируется на рисунке 1. Ближайшее расстояние между двумя точками среды, обозначенное  $\lambda$ , представляет собой параметр, характеризующий длину стоячей волны.

На основе выполненных теоретических исследований в работе разработаны новые методы оценки драпируемости и жесткости при изгибе для одежных материалов различной структуры и предложены технические средства для их реализации, принципиальные схемы которых приведены на рисунках 2 и 3.

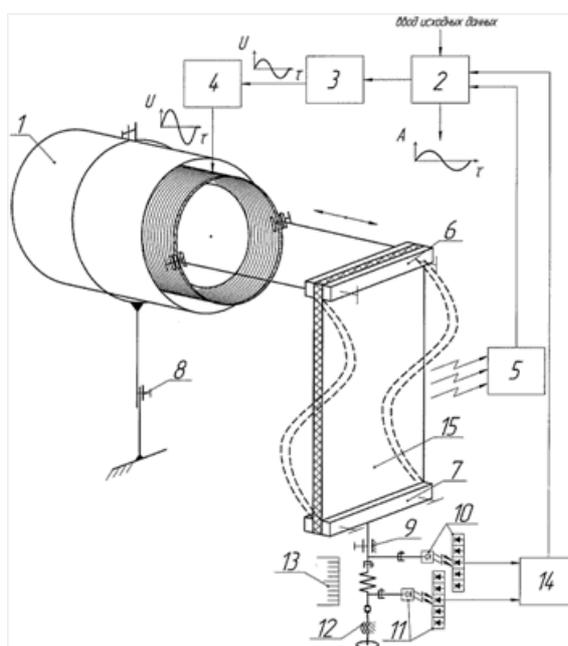


Рис.2. Принципиальная схема технического устройства для исследования драпируемости: 1 — генератор механических колебаний (ГМК); 2 — процессор; 3 — цифро-аналоговый преобразователь (АЦП); 4 — усилитель; 5 — цифровая видеокамера; 6 и 7 — зажимы образца материала; 8 — монтажный кронштейн; 9 — общая стойка для установки, фиксации и возвратно-поступательного перемещения зажима 7 при нагружении и деформации образца; 10 — оптическая линейка для измерения деформации образца; 11 — звено для задания величины нагружения; 12 — винтовая пара для обеспечения нагружения; 13 — шкала для визуализации величины нагружения; 14 — блок сопряжения

Метод оценки драпируемости, подробно описанный в работах [2, 3], заключается в определении коэффициента коррекции количества генерируемых волн квазистоячих колебаний на эталонном образце как информативного параметра. Рассматриваемая задача технологически решается тем, что оценка драпируемости текстильных материалов заключается в определении соотношения количества образующихся на образце стоячих волн для выбранного в качестве эталона образца  $m_{\text{э}}$  к величине волн  $m_i$  исследуемого  $i$ -ого образца как информативного параметра коэффициента драпируемости материала.

Коэффициент драпируемости  $i$ -ого образца материала ( $K_{др}^i$ ) рассчитывают по следующему

алгоритму:  $K_{др}^i = K_{др}^э K_{кор}^i, \%$ ;  $K_{др}^э = 100 - \frac{A}{2}, \%$ ;  $K_{кор}^i = \frac{m_э}{m_i}$ , где ( $K_{др}^э$ ) — коэффициент

драпируемости эталонного материала, определенный методом «иглы» [1];  $A$  — расстояние

между концами эталонного образца в подвешенном состоянии;  $K_{кор}^i = \frac{m_э}{m_i}$  — коэффициент

коррекции показателя драпируемости.

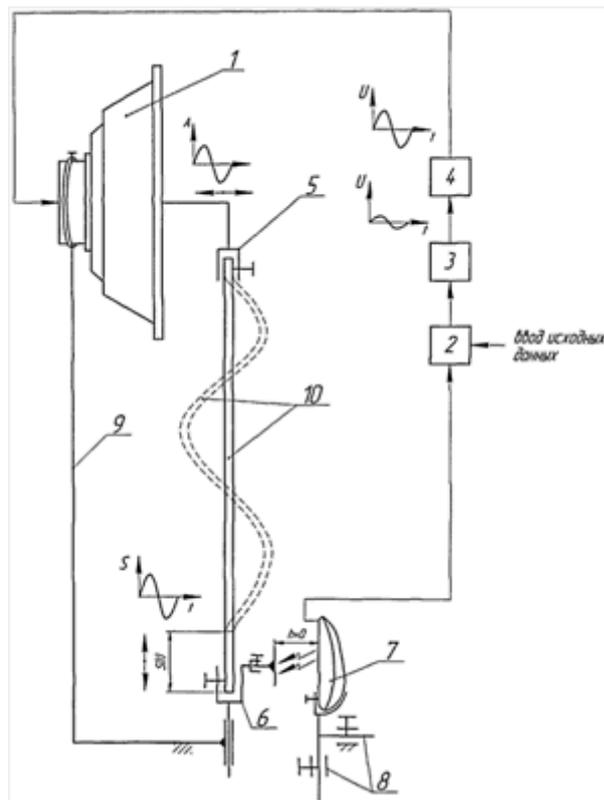


Рис. 3. Структурно-кинематическая схема реализации метода оценки жесткости материалов при изгибе: 1 — ГМК, 2 — процессор, 3 — АЦП, 4 — усилитель, 5 и 6 — зажимы для фиксирования срезов образца материала, 7 — лазерная компьютерная мышь, 8 — подвижная опора, 9 — монтажный кронштейн, 10 — образец

В разработанном способе определения жесткости одежных материалов и других волокнистых систем, подробно описанном в работах [4, 6], в качестве информативного параметра предлагается использовать значение резонансной секундной частоты измеряемого образца, которую определяют путем возбуждения в образце вынужденных поперечных колебаний с частотой 0,1–20 Гц. При этом регистрируют квазирезонансный спектр собственных частот образца с его передачей в память процессора. Параметр жесткости

материала с помощью процессора рассчитывают по формуле  $E_i I_k = 4\pi^2 \frac{f_{j,рез.}^2 \cdot P_{ik}}{\lambda_j^4 \cdot g}$ , где

$f_{j,рез.}$ ,  $P_{ik}$  — соответственно измеренное значение резонансной секундной частоты и

погонный вес  $k$ -ого образца материала;  $I_k = \frac{bh^3}{12}$  — момент инерции прямоугольного

сечения  $k$ -ого образца;  $\lambda_j$  — параметр  $j$ -ого резонансного спектра собственных колебаний материала;  $g$  — гравитационная постоянная. Полученные результаты в виде базы данных сохраняют на электронном носителе информации.

### **Заключение**

Таким образом, в работе однозначно доказана возможность использования параметров механических колебаний при определении характеристик механических свойств одежных материалов при деформации изгиба. Предложенные методы оценки драпируемости и жесткости материалов могут быть отнесены к разряду автоматизированных экспресс-методов. Несомненными преимуществами разработанных способов являются значительное сокращение времени испытания, расширение технологических возможностей, повышение точности определения искомых характеристик и обеспечение возможности формирования электронной базы данных в режиме on-line.

### **Список литературы**

1. Бузов Б.А. Материаловедение в производстве изделий легкой промышленности (швейное производство) / Б.А. Бузов, Н.Д. Алыменкова. — М.: Академия, 2004. — 448 с.
2. Дремлюга О.А. Компьютерная технология оценки драпируемости легкодеформируемых материалов / О.А. Дремлюга, И.А. Шеромова, Г.П. Старкова, А.С. Железняков // Швейная промышленность. — 2012. — № 3. — С. 23–25.
3. Патент РФ 2413223, 27.02.2011.
4. Патент РФ № 2513637, 20.04.2014.
5. Старкова Г.П. Моделирование динамики напряженного состояния текстильных материалов при фиксированной деформации / Г.П. Старкова, И.А. Шеромова, А.С. Железняков, О.И. Кудряшов // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. — 2007. — № 5. — С. 86–91.

6. Шеромова И.А. Механические колебания в задачах исследования жесткости композитных материалов / И.А. Шеромова, О.А. Дремлюга, А.С. Железняков // Швейная промышленность. – 2013. – № 3. – С. 43–44.
7. Яворский Б.М. Справочник по физике: Изд. 2-е, перераб. / Б.М. Яворский, А.А. Детлаф. — М.: Наука, 1985. – 512 с.

**Рецензенты:**

Бойцова Т.М., д.т.н., профессор, профессор, директор научно-образовательного центра экологии Владивостокского государственного университета экономики и сервиса, г. Владивосток;

Старкова Г.П., д.т.н., профессор, профессор кафедры дизайна и технологии, начальник отдела организации научно-исследовательской работы Владивостокского государственного университета экономики и сервиса, г. Владивосток.