

УДК 687.03

Старкова Галина Петровна, Шеромова Ирина Александровна

*Владивостокский государственный университет экономики и сервиса  
Владивосток, Россия*

Железняков Александр Семенович

*Новосибирский технологический институт МГУДТ (филиал)  
Новосибирск, Россия*

## **Разработка методологии исследования деформационных свойств легкодеформируемых текстильных материалов в системе материал-изделие**

*Принятие научно обоснованных проектных решений при изготовлении швейных изделий из текстильных материалов с повышенной деформационной способностью или легкодеформируемых текстильных материалов осложняется отсутствием методологии и современных методов исследования их физико-механических свойств, в том числе деформационных. В статье описаны результаты теоретических и практических исследований, связанных с разработкой методологической и методической базы для оценки деформационных свойств легкодеформируемых текстильных материалов.*

**Ключевые слова и словосочетания:** *швейные изделия, легкодеформируемые текстильные материалы, деформационные свойства, методология и методы исследования, устройства для реализации методов.*

Из-за повышенной деформационной способности, определяемой особенностями строения, в том числе и вложением эластомерных нитей, многие современные текстильные полотна могут быть классифицированы как легкодеформируемые текстильные материалы (ЛДТМ). Одежда из таких материалов пользуется широкой популярностью, что обусловлено специфическими свойствами полотен, позволяющими создавать изделия различной формы, назначения и ассортимента. Однако проектирование и производство швейных изделий из ЛДТМ сопряжено с серьезными проблемами, связанными чаще всего с отсутствием или недостаточностью информации об их физико-механических, в частности деформационных,

свойствах, что в значительной степени осложняет процесс принятия научно-обоснованных проектных решений.

Можно выделить две основные причины, объясняющие сложившуюся ситуацию. Во-первых, недостаточно разработаны методологические основы исследования деформационных свойств ЛДТМ как наиболее значимых с точки зрения влияния на процессы проектирования и производства одежды. Во-вторых, отсутствуют простые с технической точки зрения, но при этом объективные и точные методы исследований свойств легкодеформируемых текстильных материалов и технические средства для их реализации. Все это обуславливает особую актуальность проведения научного поиска в области методологии и методики исследований деформационных и иных свойств ЛДТМ.

В настоящее время на кафедре сервиса и моды Владивостокского государственного университета экономики и сервиса (ВГУЭС) сформировано и успешно развивается новое научное направление, реализуемое совместно с Новосибирским технологическим институтом МГУДТ, суть которого составляет системный подход к изучению свойств ЛДТМ. В результате многолетних исследований разработаны методологические основы оценки деформационных свойств легкодеформируемых текстильных материалов в системе материал-изделие, а также предложен целый комплекс патентоспособных методов и технических средств их реализации.

Проведенный системный анализ влияния свойств ЛДТМ на протекание процессов проектирования, изготовления и эксплуатации одежды позволил разработать структурную модель движения информации о свойствах материалов в процессах их жизненного цикла (ЖЦ), рассматриваемого как система «материал-изделие». При этом выявлены характеристики свойств легкодеформируемых текстильных материалов, прежде всего деформационных, величина которых в значительной степени влияет на выбор проектных решений при определении конструктивных параметров изделия и режимов его технологической обработки на различных этапах производства. Характер влияния деформационных характеристик ЛДТМ на процессы ЖЦ одежды отражен на рис. 1.

Установлено, что к характеристикам, оказывающим наибольшее влияние на процессы проектирования и производства швейных изделий, относятся: растяжимость при средней эксплуатационной нагрузке, деформационно-релаксационные характеристики при фиксированной деформации, характеристики напряженно-деформированного состояния (НДС) движущихся материалов, характеристики поперечного сокращения при одноосном растяжении и др. Однако, несмотря на очевидную важность полного комплекса деформационных характеристик ЛДТМ применительно к жизненному циклу одежды в целом, для отдельно взятых этапов ЖЦ изделий значимыми являются не все, а лишь определенные их

показатели. Это свидетельствует о необходимости использования в каждом конкретном случае разных методов экспериментальной оценки деформационных свойств легкодеформируемых текстильных материалов.

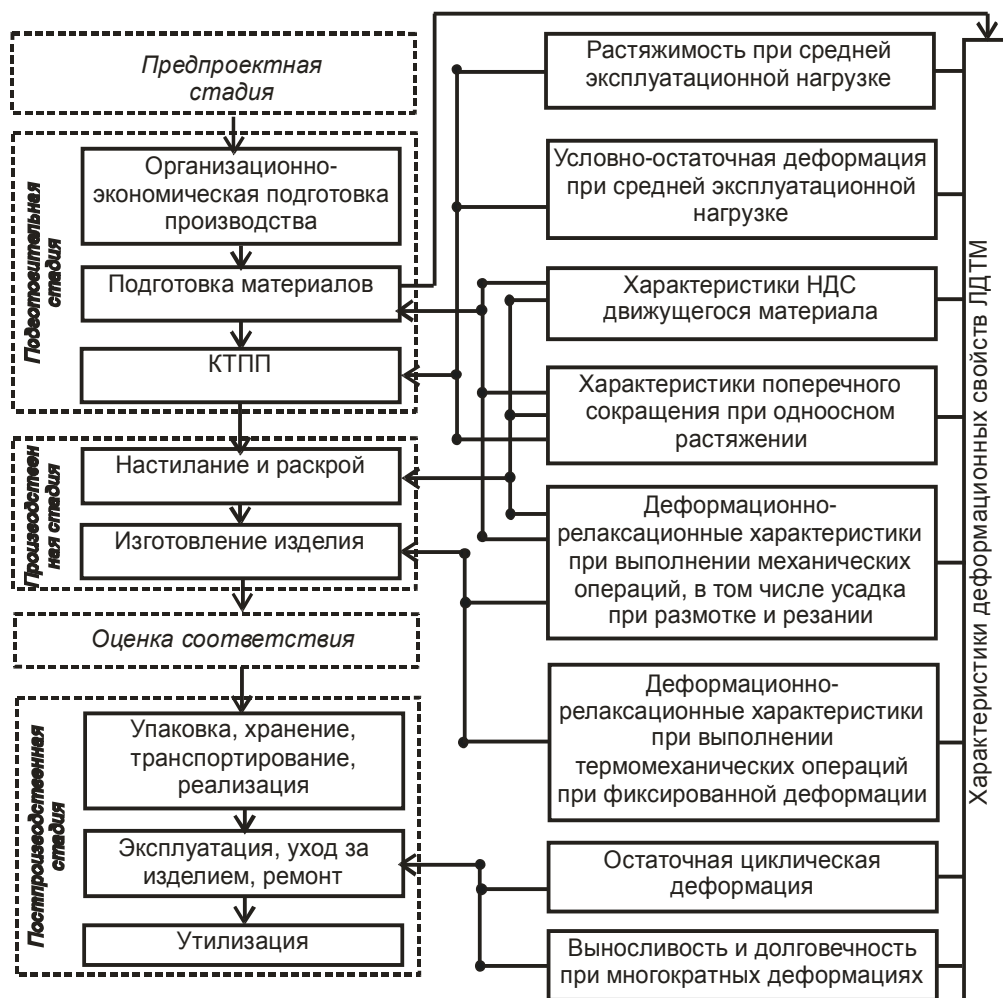


Рис. 1. Структурная схема влияния характеристик деформационных свойств ЛДТМ на процессы жизненного цикла одежды

Как показал проведенный анализ, на настоящий момент методическая и техническая база для исследования деформационных свойств текстильных материалов имеет целый ряд существенных недостатков, к которым относятся: недостаточная точность и достоверность получаемой информации; техническая сложность практической реализации; отсутствие методов, позволяющих определять некоторые характеристики деформационных свойств; низкий уровень автоматизации процесса измерения, регистрации и обработки данных. Таким образом, была обоснована приори-

тетность задач по совершенствованию методического и технического обеспечения для исследования деформационных свойств материалов.

В рамках комплексной программы исследований, направленных на совершенствование методического и технического обеспечения для изучения различных характеристик деформационных свойств легкодеформируемых текстильных материалов, был разработан целый ряд методов и технических средств, предназначенных для решения поставленных задач [1 – 5]. Принципиальная новизна данных методов подтверждена патентами РФ.

При реализации программы исследований особое внимание было уделено разработке методов и устройств, предназначенных для исследования процесса релаксации напряжений, возникающих в материалах при фиксированной деформации. Знание кинетики релаксации напряжения при фиксированной деформации позволяет обоснованно выбирать параметры ВТО при формовании и иных термомеханических воздействиях на материал.

Анализ методов экспериментального исследования рассматриваемых процессов позволил установить эффективность оценки параметров релаксации напряжения по изменению динамических характеристик материалов в ходе выполнения технологических процессов, в частности, по изменению спектра собственных колебаний.

В ходе аналитических исследований было дано теоретическое обоснование связи релаксации напряжения материала при фиксированной деформации с параметрами его вынужденных поперечных колебаний. Принимая во внимание тот факт, что при колебаниях однородной пластины прогиб  $y(x, t)$  является функцией линейной координаты ( $x$ ) и времени ( $t$ ), с некоторыми допущениями задача о вынужденном прогибе полоски текстильного материала была рассмотрена как колебания упругой однородной пластины (рис. 2).

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

где  $f(x, t) = \frac{1}{\rho S} F(x, t)$ ;

$\rho$  – объёмная плотность;

$S$  – площадь поперечного сечения пластины;

$F(x, t)$  – внешняя сила, изменяющаяся во времени и рассчитанная на единицу длины материала;

$b = \sqrt{\frac{EJg}{\rho}}$ ;  $EJ$  – изгибная жёсткость материала в плоскости колебаний;

$\rho$  – линейная плотность материала;

$g$  – гравитационная постоянная.

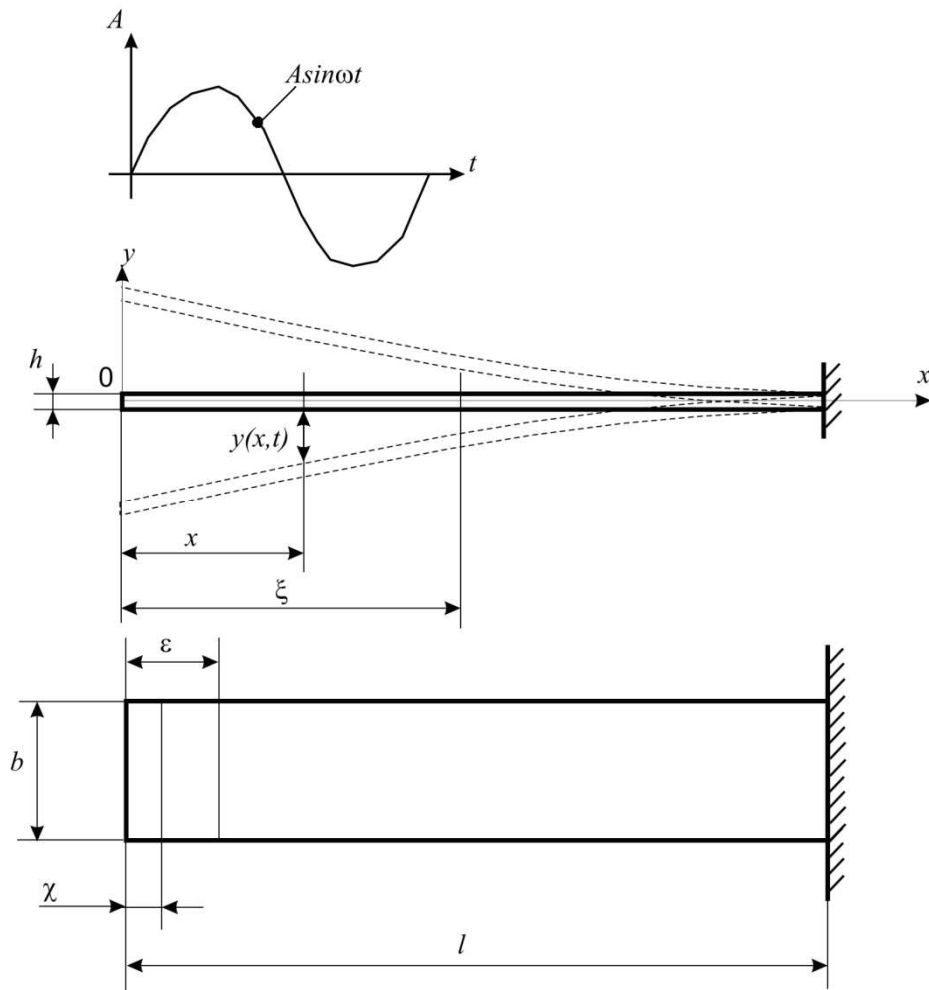


Рис. 2. Схема к расчёту колебаний однородной пластины легкодеформируемого текстильного материала

С учетом расчетной схемы (рис. 2), используя последовательно метод разделения переменных Фурье, функцию влияния Грина, метод вариации произвольных постоянных Лагранжа, был выполнен комплекс математических преобразований и аналитически получена модель вынужденных колебаний однородного образца материала:

$$y(x,t) = A \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\varphi_n(0) \cdot \sin \omega t \cdot \varphi_n(x)}{\|\varphi_n\|^2 (\lambda_n^4 b^2 - \omega^2)} - \frac{A \omega}{b} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\varphi_n(0) \sin \lambda_n^2 b t \cdot \varphi_n(x)}{\lambda_n^2 \|\varphi_n\|^2 (\lambda_n^4 b^2 - \omega^2)}, \quad (2)$$

где  $\varphi_n(x)$  – некоторая собственная функция,  
 $\lambda_n$  – положительные корни трансцендентного уравнения.

Результаты компьютерного моделирования, представленные на рис. 3, демонстрируют зависимость изменения параметров собственных колебаний пластины из ЛДТМ в процессе релаксации напряжения.

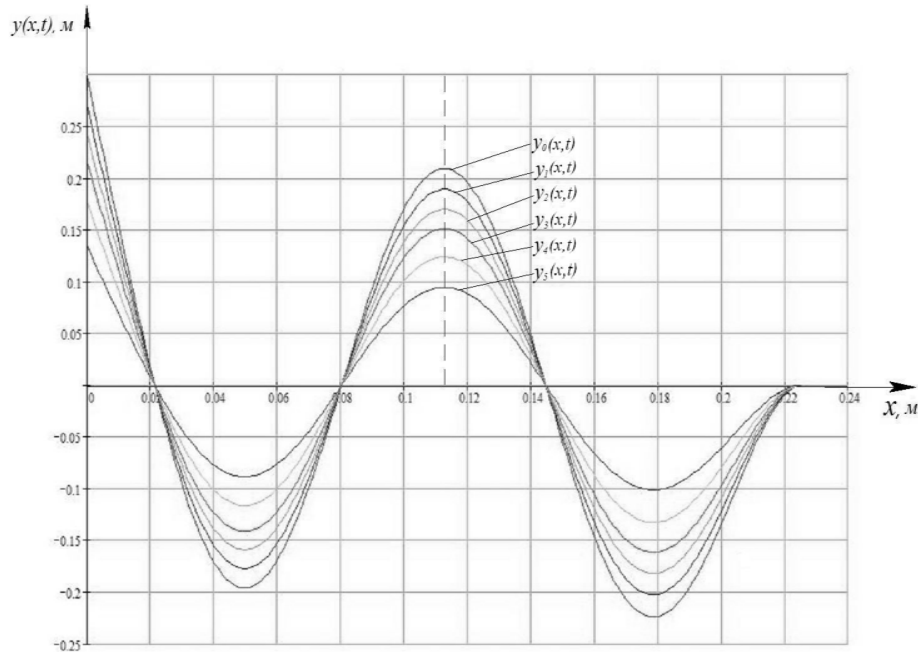


Рис. 3. Параметрические колебания легкодеформируемой пластины из текстильного материала (костюмная ткань с вложением эластана типа арт. 2330)

Примечание:  $f_0 = 18,967$  Гц;  $A = 0,01$  м;  $y_0(x) \Leftrightarrow E_0 = 1,42$  МПа,  $y_1(x) \Leftrightarrow E_1 = 1,52$  МПа;  $y_2(x) \Leftrightarrow E_2 = 1,63$  МПа;  $y_3(x) \Leftrightarrow E_3 = 1,75$  МПа;  $y_4(x) \Leftrightarrow E_4 = 1,95$  МПа;  $y_5(x) \Leftrightarrow E_5 = 2,22$  МПа.

Из общего анализа модели вынужденных колебаний и его графического отображения следует, что при релаксации напряжения легкодеформируемых текстильных материалов и  $\varepsilon = const$  изменяются их динамические свойства и соответственно параметры вынужденных колебаний. Изменяющиеся характеристики вынужденных колебаний при возможности их инструментального определения могут являться информативными параметрами процесса релаксации напряжения при фиксированной деформации, что может быть основой для разработки методов и средств исследования релаксации НДС текстильных материалов легкодеформируемой структуры, что и было предложено использовать в дальнейших теоретических и экспериментальных исследованиях.

Одним из наиболее перспективных способов с точки зрения практической реализации является метод, предусматривающий генерацию вы-

нужденных колебаний исследуемого образца текстильного легкодеформируемого материала в звуковом диапазоне, определение и автоматическую запись в процессор информативных параметров, связанных с процессом релаксации напряжения, и расчет на их основе кинетики этого процесса [7].

Способ в качестве информативного параметра предусматривает использование резонансной частоты вынужденных колебаний. При этом вынужденные колебания образца материала возбуждают с частотой в диапазоне между двумя значениями его собственных частот, соответствующих исходному и конечному состоянию процесса релаксации с возможностью визуализации колебаний с помощью строботахометра и регистрации их частоты по условию появления резонанса посредством системы оптоэлектронных преобразователей со встроенным микропроцессором. Структурная схема системы для технической реализации данного метода представлена на рис. 4.

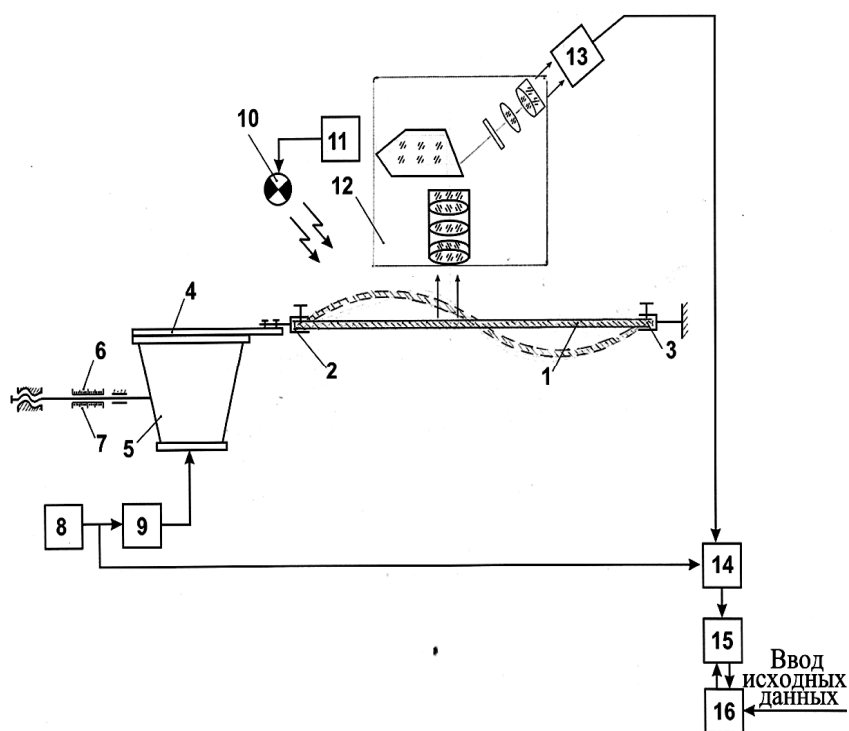


Рис. 4. Принципиальная схема системы для технической реализации способа оценки НДС ЛДТМ: 1 – образец материала; 2, 3 – зажимы; 4 – резонаторная пластина; 5 – генератор механических колебаний; 6, 7 – оцифрованные шкалы для определения нагрузки и деформации; 8 – генератор звуковых колебаний; 9 – блок усиления; 10 – импульсная лампа; 11 – строботахометр; 12 – оптический усилитель; 13 – система оптоэлектронных преобразователей; 14 – блок совпадения «И»; 15 – блок сопряжения; 16 – процессор

Для развития данного метода с целью повышения надежности и точности измерения информативных параметров релаксации напряжения легкодеформируемых материалов при их фиксированной деформации было предложено устройство, которое в отличие от предыдущего дополнительно содержит систему запуска генерации вынужденных колебаний и синхронизации работы генератора механических колебаний и импульсной лампы строботахометра, включающую встроенный в термокамеру датчик температуры и управляющий блок, связанные с процессором, а также блок запуска генерации вынужденных колебаний [8]. Структурная схема устройства дана на рис. 5.

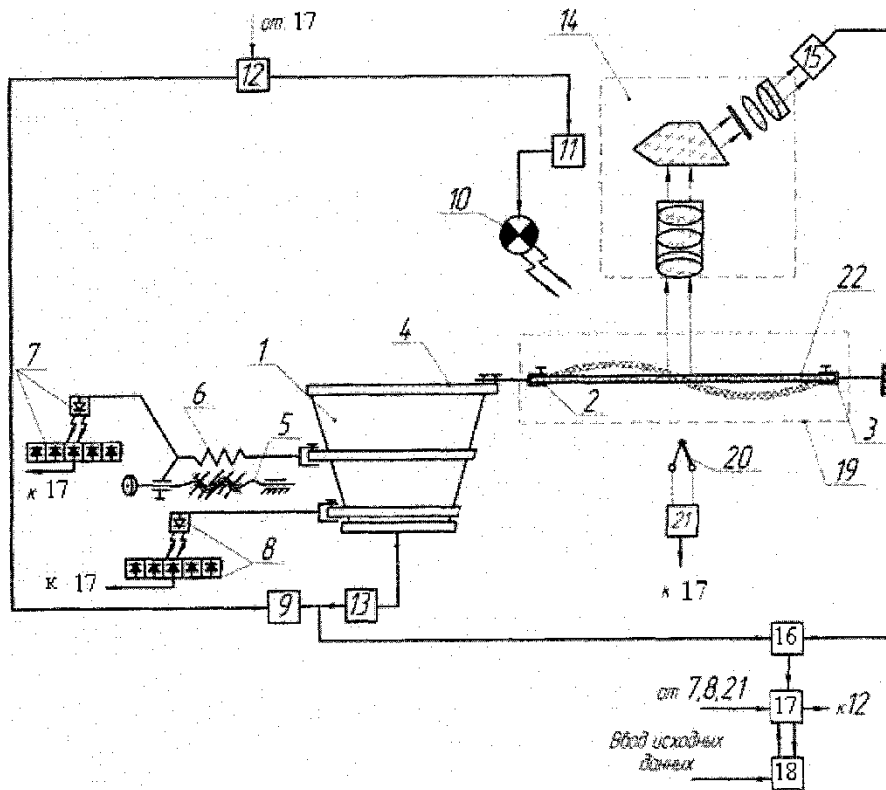


Рис. 5. Принципиальная схема устройства для исследования кинетики релаксации напряженного состояния легкодеформируемых материалов

Устройство работает следующим образом.

Образец 22 легкодеформируемого материала фиксируют в зажимах 2 и 3. Зажим 2, установленный на резонаторной пластине 4, посредством винтовой передачи 5 перемещают совместно с генератором механических колебаний 1, нагружая и деформируя образец на заданную величину и создавая, тем самым, его начальное напряжение.



Величина начальной (заданной) деформации ( $\varepsilon_0 = const$ ) исследуемого образца и соответствующее ему напряжение определяются посредством оптоэлектронных считывающих элементов 7 и 8 и с помощью блока сопряжения 17 передаются в процессор 18, где фиксируются в качестве исходных данных путем записи информации.

После задания и записи в память процессора 18 значения начальной деформации образца и соответствующего ему напряжения устанавливаются рабочие параметры паровоздушной среды термокамеры 19 и, соответственно, необходимую температуру образца (возможен режим работы без нагрева, при номинальной температуре). При этом температурный датчик 20 посредством управляющего блока 21 через процессор 18 формирует команду на начало действия запускающего блока 12, осуществляя, таким образом, управление началом генерации вынужденных колебаний. Запускающий блок 12 инициирует начало работы в программно-цикловом режиме генератора звуковых колебаний 9, а также импульсной лампы 10 строботаксметра 11, обеспечивая синхронизацию их действия.

Генератор механических колебаний 1 задает колебания генераторной пластине 4 и образцу 22 в программно-цикловом режиме с частотами, находящимися между двумя значениями главных собственных частот колебаний образца. Выбор диапазона частот вынужденных колебаний обусловлен спектром частот собственных колебаний образца и одновременно требованиями, предъявляемыми к чувствительности системы измерения. Необходимая чувствительность оценки обеспечивается в диапазоне звуковых частот вынужденных колебаний, поскольку установлено, что в области дозвуковых частот (менее 20 Гц) при изменении модуля упругости исследуемого образца частота его собственных колебаний изменяется незначительно, при этом незначительным будет и соответствующее регистрируемое изменение частоты вынужденных колебаний, обеспечивающих возникновение резонанса.

Генератор звуковых колебаний 9, работающий в программно-цикловом режиме синхронно с импульсной лампой 10 строботаксметра 11, обеспечивает независимо от напряженного состояния образца 22 надежный его выход на резонансные частоты.

Световые сигналы импульсной лампы 10 строботаксметра 11, работающего в установленном программно-цикловом режиме с заданной частотой, непрерывно поступают на вход оптического усилителя 14. При совпадении частот спектра собственных колебаний образца 22 с частотами вспышек импульсной лампы 10 строботаксметра 11 возникает стробоскопический эффект, обеспечивающий появление квазиустановившегося оптического изображения образца 21.

Квазиустановившееся оптическое изображение образца поступает на вход системы оптоэлектронного преобразователя 15 и анализируется

встроенным в него микропроцессором (не показан). При условии совпадения частот собственных и вынужденных колебаний образца, характеризующихся появлением максимальной амплитуды резонансных колебаний, микропроцессор оптоэлектронного преобразователя 15 формирует на входе блока совпадения «И» 16 разрешение на запись через блок сопряжения 17 в процессор 18 текущего значения частоты ( $f_i$ ) вынужденных колебаний.

С изменением спектра частот собственных колебаний, наблюдающимся в ходе релаксации напряжения образца, для достижения резонанса необходимо соответствующее изменение частоты ( $f_i$ ) вынужденных колебаний, которое, таким образом, является информативным параметром процесса релаксации напряжения образца при его фиксированной деформации.

На основе взаимосвязи частоты вынужденных колебаний, соответствующей резонансу исследуемого образца в исходном напряженном и конечном состояниях, и параметров релаксации напряженного состояния исследуемого образца вычислительный блок процессора 18 по введенным в его память соответствующим функциям и заданному алгоритму в реальном режиме времени производит расчет функции напряженного состояния и формирует график-тренд кинетики релаксации напряжения образца.

Таким образом, предлагаемое техническое решение устройства обеспечивает повышение надежности и точности измерения параметров релаксации напряженного состояния легкодеформируемых материалов при фиксированной деформации за счет использования системы, обеспечивающей синхронизацию работы импульсной лампы строботахометра и генератора звуковых колебаний и управляющей началом генерации вынужденных колебаний с учетом параметров теплового воздействия на исследуемый образец.

Все разработанные методы и технические средства прошли необходимую апробацию, в ходе которой была доказана их высокая функциональная эффективность при исследовании различных характеристик деформационных свойств ЛДТМ.

Таким образом, в рамках нового научного направления разработаны методологические основы и создана необходимая методическая и техническая база, позволяющая проводить комплексные исследования деформационно-релаксационных свойств легкодеформируемых материалов в системе материал-изделие.

---

1. Шеронова И.А. Исследование влияния параметров паровоздушной среды на релаксацию напряжения волокнистых материалов / И.А. Шеронова, А.С. Железняков // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности – 2007. – № 3. – С. 139 – 142.

2. Шеромова И.А. Моделирование динамики напряженного состояния текстильных материалов при фиксированной деформации / И.А. Шеромова, Г.П. Старкова, А.С. Железняков, О.И. Кудряшов // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2007. – №5. – С. 86 – 91.

3. Шеромова И.А. Исследование деформационных характеристик высокоэластичных материалов посредством цифровых технологий / И.А. Шеромова, А.В. Новикова, А.С. Железняков // Швейная промышленность. – 2008. – №2. – С. 45 – 46.

5. Шеромова И.А. О методе исследования НДС волокнистых материалов / И.А. Шеромова, Г.П. Старкова, А.С. Железняков // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2008. – №3. – С. 21 – 23.

6. Пат. 2384843 Российская Федерация, МПК G01N33/36. Устройство для исследования релаксации напряжения легкодеформируемых волокнистых материалов при фиксированной деформации [Текст] / Старкова Г.П., Слесарчук И.А., Шеромова И.А., Кушнарева В.А., Железняков А.С.; заявитель и патентообладатель Владивостокский государственный университет экономики и сервиса (ВГУЭС). – № 2008150002/28; заявл. 17. 12.2008; опубл. 20.03.2010. Бюл. № 8-2010.

7. Пат. 2399913 Российская Федерация, МПК G01N33/36. Устройство для исследования кинетики релаксации напряженного состояния легкодеформируемых материалов при фиксированной деформации [Текст] / Старкова Г.П., Данилов А.А., Слесарчук И.А., Железняков А.С.; заявитель и патентообладатель Владивостокский государственный университет экономики и сервиса (ВГУЭС). – № 2009121802/12; заявл. 08.06.2009; опубл. 20.09.2010. Бюл. № 26-2010.

8. Пат. 2321848 Российская Федерация, МПК G01N29/00. Способ оценки напряженно-деформированного состояния легкодеформируемых волокнистых композитов [Текст] / Железняков А.С., Старкова Г.П., Жихарев А.П., Шеромова И.А., Слесарчук И.А.; заявитель и патентообладатель Владивостокский государственный университет экономики и сервиса (ВГУЭС). – №2006127999; заявл. 01. 08.2006; опубл. 10.04.2008. Бюл. №10-2008.

8. Пат. 2399913 Российская Федерация, МПК G01N33/36. Устройство для исследования кинетики релаксации напряженного состояния легкодеформируемых материалов [Текст] / Старкова Г.П., Шеромова И.А., Дремлюга О.А., Железняков А.С.; заявитель и патентообладатель Владивостокский государственный университет экономики и сервиса (ВГУЭС). – № 2008126702/28; заявл. 30.06.2008; опубл. 20.06.2010. Бюл. № 17-2010.