

РАЗРАБОТКА МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЕФОРМАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ТЕКСТИЛЬНЫХ ПОЛОТЕН В СИСТЕМЕ МАТЕРИАЛ-ИЗДЕЛИЕ

Г.П. Старкова, И.А. Шеромова
Владивостокский государственный университет экономики и сервиса
А.С. Железняков
Новосибирский технологический институт МГУДТ (филиал)

Из-за особенностей строения, разреженности структуры и вложения эластомерных нитей многие ткани современного ассортимента и практически все трикотажные полотна имеют повышенную способность к деформации, прежде всего растяжению. Это позволяет классифицировать их как текстильные полотна легкодеформируемой структуры, или иначе легкодеформируемые текстильные материалы (ЛДТМ). Особую группу среди материалов с легкодеформируемой структурой составляют текстильные полотна с вложением полиуретановых нитей типа эластана или лайкры, получившие название высокоэластичных материалов (ВЭМ) благодаря значительной (более 95%) доле быстро обратимой деформации при высокой степени растяжимости. Одежда из названных материалов пользуется широкой популярностью, что обусловлено специфическими свойствами полотен, обеспечивающими создание изделий различной формы, назначения и ассортимента, в том числе изделий с высокой степенью прилегания к телу носчика, сохраняющих при этом требуемый уровень эргономических показателей.

Учитывая повышенный интерес потребителей, предприятия швейной отрасли включают одежду из текстильных полотен легкодеформируемой структуры, в том числе высокоэластичных материалов, в ассортиментный перечень выпускаемой ими продукции. Однако проектирование и производство такой одежды сопряжено с серьезными проблемами, чаще всего связанными с недостаточным информационным обеспечением подготовительных и производственных процессов в части исследования и учета физико-механических свойств ЛДТМ. Исходная информация о свойствах материа-

лов, необходимая для принятия научно-обоснованных проектных решений, зачастую носит разрозненный, неконкретный и малодостоверный характер, или отсутствует как таковая.

Можно выделить две основные причины, обуславливающие сложившуюся ситуацию. Во-первых, не достаточно разработаны методологические основы исследования наиболее значимых с точки зрения влияния на процессы проектирования и производства одежды свойств ЛДТМ. Во-вторых, отсутствуют простые с технической точки зрения, но при этом объективные и точные методы исследований свойств легкодеформируемых текстильных, в том числе высокоэластичных, материалов и технические средства для их реализации.

Данный факт обуславливает особую актуальность проведения научного поиска в области методологии и методики исследований свойств ЛДТМ, в том числе деформационных.

Исследования, проводимые в течение ряда лет на кафедре сервиса и моды Владивостокского государственного университета экономики и сервиса (ВГУЭС) совместно с Новосибирским технологическим институтом МГУДТ, позволили сформировать и развить новое научное направление. Суть данного направления составляет системный подход к исследованию свойств ЛДТМ, позволивший разработать методологические основы их оценки в системе материал-изделие, а также предложить целый комплекс патентоспособных методов и технических средств их реализации.

В рамках названного научного направления, с использованием принципиально нового подхода, учитывающего основополагающие принципы так называемых ИПИ-технологий (от Информационная Поддержка жизненного цикла Изделий), был проведен системный анализ влияния свойств ЛДТМ на протекание процессов ЖЦ одежды. Результатом анализа явилась структурная модель движения информации о свойствах материалов в процессах их жизненного цикла (ЖЦ), рассматриваемого как система «материал-изделие». При этом выявлены конкретные характеристики свойств легкодеформируе-

мых текстильных материалов, прежде всего деформационных, величина которых в значительной степени влияет на выбор проектных решений при определении конструктивных параметров изделия и режимов технологической обработки на различных этапах производства одежды. Характер влияния деформационных характеристик ЛДТМ на процессы ЖЦ одежды отражен на рисунке 1. Как видно из схемы, к наиболее значимым для проектирования и производства швейных изделий характеристикам 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. При этом, несмотря на очевидную важность всего комплекса деформационных характеристик ЛДТМ применительно к жизненному циклу одежды, для отдельно взятых этапов ЖЦ изделий значимыми являются не все, а лишь определенные показатели деформационных свойств материалов. Это свидетельствует о необходимости применения на практике в каждом конкретном случае разных методов экспериментальной оценки деформационных свойств легкодеформируемых текстильных материалов.

Проведенный анализ показал, что на настоящий момент методическая и техническая база для исследования деформационных свойств текстильных материалов имеет целый ряд существенных недостатков, к каковым, прежде всего, 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 приоритетность задач по совершенствованию методического и технического обеспечения для исследования деформационных свойств материалов.

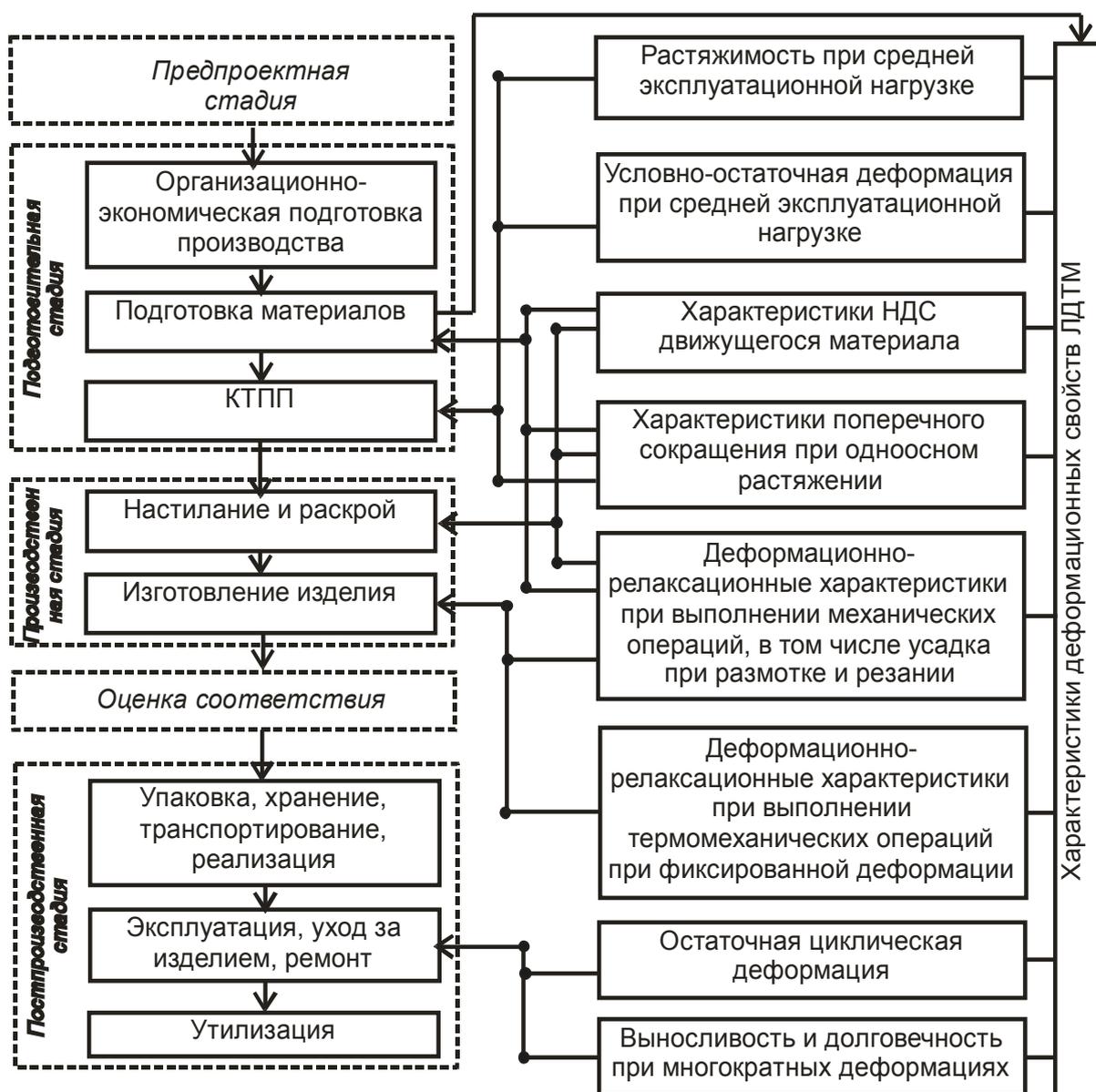


Рисунок 1- Структурная схема влияния характеристик деформационных свойств ЛДТМ на процессы жизненного цикла одежды

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. Научная и техническая новизна данных методов подтверждена патентами РФ.

При реализации программы исследований особое внимание было уделено обоснованию возможности использования различных физических явле-

ний для оценки деформационно-релаксационного поведения ЛДТМ при различных исходных параметрах. Известно, что методы и системы, основанные на использовании различных физических эффектов, показывают достаточно высокую функциональную эффективность при исследовании НДС легкодеформируемых текстильных материалов.

Так, для измерения структуры и НДС движущегося материала разработан и апробирован принципиально новый бесконтактный метод, базирующийся на стробоскопическом эффекте [1]. Для его реализации разработана оптическая система, принцип действия которой основывается на синхронизации скорости перемещения материала и частоты работы строботахометра. Метод предусматривает определение натяжения материала (T) и его деформации (ε) по значению частоты синхронизации (ξ).

Методика определения натяжения материала (T) и его деформации (ε) по значению частоты синхронизации (ξ) может быть сведена к следующему алгоритму:

- предварительно определяется раппорт (шаг) переплетения материала h_0 в исходном недеформированном состоянии и синхронизирующая частота стробоскопа ξ_0 для заданной скорости движения материала V_0 и его ширина b ;

- измеряется синхронизирующая частота ξ_i для i -ого напряжённо-деформированного состояния движущегося материала;

- определяется относительная деформация материала при его контактном взаимодействии с рабочими органами технологического оборудования:

$$\varepsilon = \left(\frac{\xi_0}{\xi_i} - 1 \right) \cdot 100\%, \quad (1)$$

- по тарифовочному графику «натяжение–деформация» $\varepsilon = f(T)$ определяется натяжение материала в технологической зоне его обработки.

На рисунке 2 представлена схема измерения экспериментального прибора для проведения исследований НДС движущегося материала при его взаимодействии с рабочими органами технологического оборудования с использованием стробоскопического эффекта.

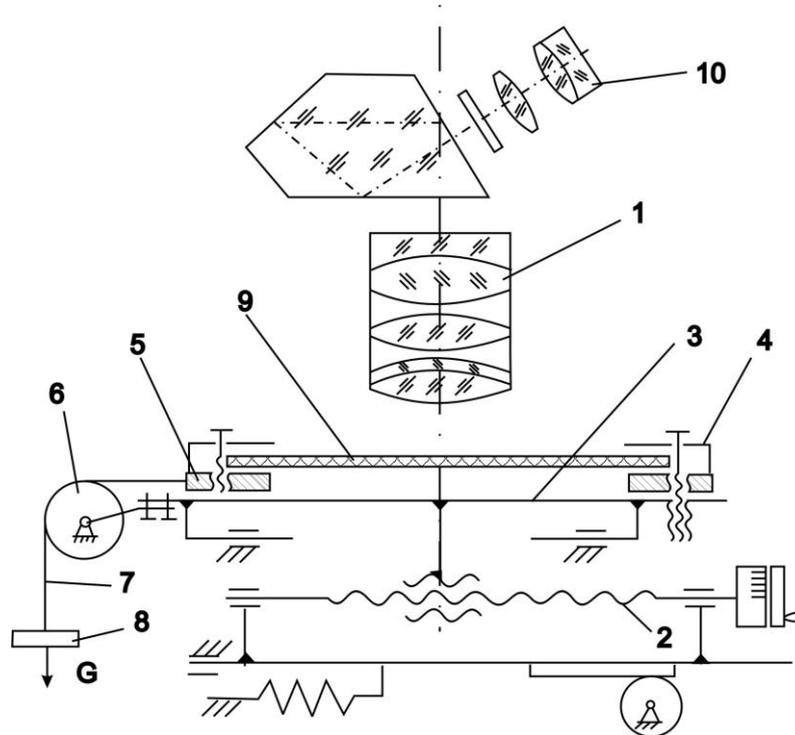


Рисунок 2 - Схема экспериментального стенда

Стенд-прибор представляет собой стандартные аппаратные средства и специально изготовленное приспособление. Приспособление (см. рис. 2) состоит из горизонтальной платформы 3, неподвижного 4 и подвижного зажимов 5 для установки образца 9, свободно вращающегося блока 6, подвески 7 с грузами 8. Для определения параметра h в свободном и нагруженном состоянии образцов материала используются элементы микроскопа (например, ММИ), обеспечивающего 50-ти кратное увеличение с абсолютной погрешностью измерения линейных параметров $\pm 0.005\text{мм}$, в частности, его объектив 10, тубус для фокусирования изображения переплетения и микрометр 2. Приспособление обеспечивает горизонтальное размещение и перемещение образца под действием растягивающих усилий в соответствии с выбранным диапазоном нагружения.

В качестве контрольного участка для измерения деформации материалов принят один раппорт переплетения (h), определяемый расстоянием между нитями утка для тканей или петельным шагом трикотажного переплетения (рис. 3).

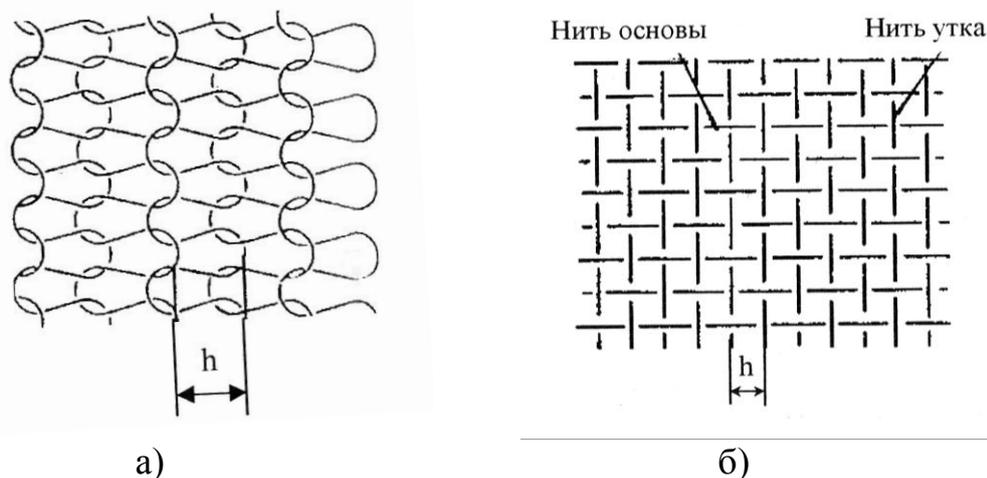


Рисунок 3 – Схема измерения длины контрольного участка (шага переплетения) h : а - для трикотажа; б – для ткани

В отличие от традиционных методов исследования деформационно-релаксационных процессов, когда измеряется изменение линейных параметров всего образца, предлагаемый метод позволяет посредством синхронизации скорости перемещения шага переплетения с частотой импульсов генератора строботехометра наблюдать деформационную картину одного или нескольких его элементов.

Помимо рассмотренного метода для экспериментальных исследований НДС движущихся материалов определённый интерес представляют собой методы, основанные на использовании пьезометрических преобразователей, которые позволяют значительно упростить их практическую реализацию, обеспечивая при этом повышенную точность измерения НДС движущихся материалов легкодеформируемой сетчатой структуры.

Авторами предложен метод [2], основная идея которого заключается в следующем. Информативный параметр деформации текстильного полотна, в качестве которого выступает расстояние между поперечными структурными

элементами, определяется посредством сканирования пьезопреобразователем поверхности движущегося рельефа материала при постоянном контактном взаимодействии с ним. При этом по числу генерируемых импульсов, определяемых количеством элементов структуры (например, уточных нитей) в эталонной длине движущегося участка, посредством процессора рассчитывается среднее значение текущего линейного параметра, и полученные результаты периодически сравниваются с соответствующими исходными данными недеформированного участка материала.

Предлагаемый способ измерения деформации (ε) материала на базе использования пьезометрического преобразователя состоит в следующем:

- предварительно стандартными методами (ГОСТ 3812-72) определяют среднее значение расстояния между поперечными структурными элементами (например, для ткани – между уточными нитями) h_0^{cp} по их количеству на выбранной эталонной длине l_0 ненагруженного материала (рис.4), которое вводится в процессор как исходные данные;

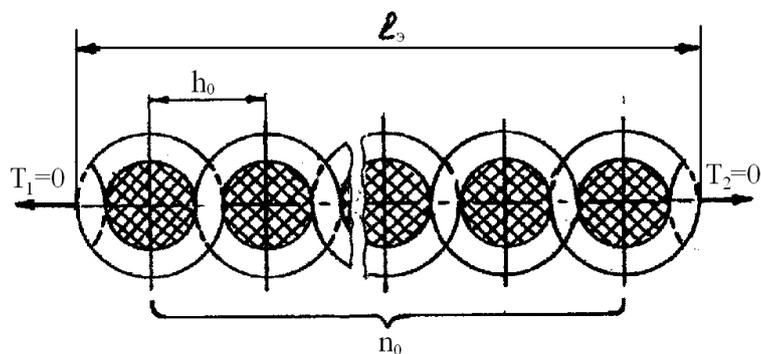


Рисунок 4 – Условное изображение среза материала в свободном недеформированном состоянии

- при движении материала по технологическому тракту пьезопреобразователем генерируются электронные импульсы, число которых определяется количеством поперечных структурных элементов (рис. 5), соответствующих эталонной длине l_0 ;

- микропроцессор рассчитывает деформацию на участке движущегося материала, определяемого эталонной длиной, по формуле

$$\varepsilon = \frac{\frac{l_3}{n_1} - h_0^{cp}}{h_0^{cp}} 100\%, \quad (2)$$

где n_1 - количество импульсов, считанных пьезоэлементом при перемещении эталонного участка материала l_3 ; h_0^{cp} - средний линейный параметр (расстояние между структурными элементами) недеформированного материала.

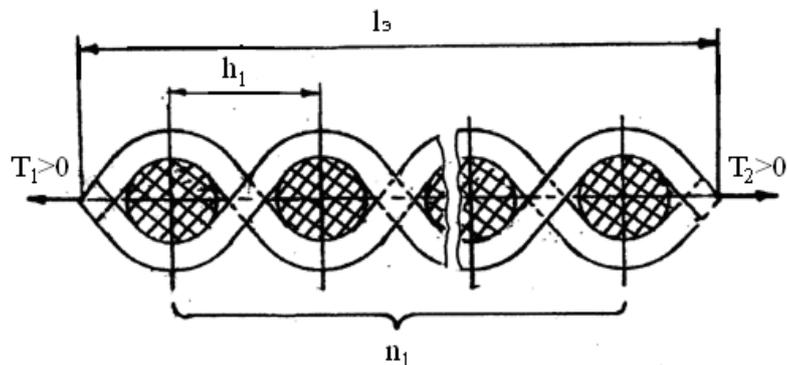


Рисунок 5 - Условное изображение среза материала в деформированном состоянии

На рисунке 6 представлена структурная схема устройства для реализации описанного способа, которое работает следующим образом.

При движении материала по измерительному тракту и его силовом взаимодействии с рабочими органами технологического оборудования происходит его деформация. При этом щуп 1, связанный с пьезоэлементом 2, находится в постоянном силовом контакте с движущейся поверхностью под действием заданного усилия P (от 0.1 до 0.25Н), и происходит непрерывное сканирование рельефа поверхности исследуемого объекта, в частности, считывание количества поперечных элементов структуры на заданной эталонной длине в движущемся деформированном материале (рис. 5).

Каждому поперечному структурному элементу соответствует электронный импульс, генерируемый пьезопреобразователем, т.е. формируемое пьезопреобразователем количество сигналов соответствует количеству считанных структурных элементов текстильного материала.

Генерируемые пьезоэлементом 2 сигналы усиливаются в блоке 3 и по-

ступают в измерительно-вычислительную систему. Однако сигналы от пьезоэлемента 2, усиленные в блоке 3, не могут пройти через блок сопряжения (контроллер) 4 в процессор 5, до тех пор, пока не будет считана метка 6 на движущемся материале датчиком 7 начала эталонной длины $l_э$ и дано соответствующее разрешение.

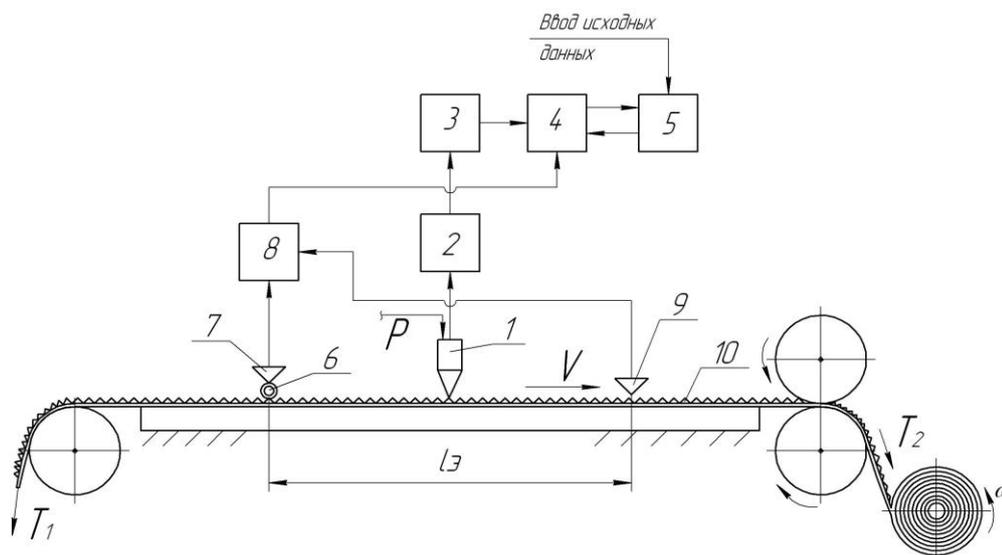


Рисунок 6 – Структурная схема измерения НДС материалов с использованием пьезометрического датчика

Как только датчик 7 выработает импульс, в блоке 8 сформируется потенциальный сигнал, который даст разрешение на прохождение информации от пьезопреобразователя 2 и усилителя 3 в блок сопряжения 4 и далее в процессор 6. В момент взаимодействия движущейся метки с датчиком 9 конца эталонной длины $l_э$ сформируется сигнал перевода блока 8 в исходное первоначальное состояние и вход сигналов от усилителя 3 в блок сопряжения 4 будет заблокирован.

Таким образом, в процессор поступит количество импульсов, равных количеству структурных элементов материала 10, соответствующих эталонной длине $l_э$. При этом количество импульсов не зависит от возможного проскальзывания материала относительно рабочих органов технологического оборудования, его остановки при технологической необходимости, а только от степени его деформации.

Полученное значение деформации может быть использовано для расчёта его натяжения по функциональной зависимости $\varepsilon = f(T)$ и формирования команд управления исполнительными механизмами технологического оборудования для устранения недопустимого отклонения процесса обработки материалов от заданных режимов.

Для исследования влияния термомеханических факторов на продолжительность релаксации вязкоупругой составляющей деформации материалов в требуемом диапазоне параметров паровоздушной среды была разработан специальный экспериментальный прибор, который позволяет с достаточно высокой точностью проводить необходимые исследования и определять время релаксации деформаций для различных условий ведения процесса [3].

Отличительной особенностью измерительной схемы этого прибора является использование в качестве информативного параметра перемещения контрольной метки, установленной на специальном монтажно-измерительном элементе, обладающим значительно меньшими, по сравнению с изучаемыми материалами, деформационными свойствами.

Монтажно-измерительный элемент непосредственно связан с испытуемым образцом для его нагружения (деформации), но вынесен, за исключением узкой монтажной полоски, из зоны воздействия паровоздушной среды. Поэтому считывание оптоэлектронными средствами перемещения контрольной метки элемента, как информативного параметра НДС материала, практически не зависит от его деформационно-релаксационных свойств и термомеханических факторов, так как этот элемент в процессе измерения находится в условиях действия нормальных температур.

Экспериментальный прибор (рис. 7) содержит термокамеру 1 с внутренним теплоизоляционным покрытием 2 и нагревательными элементами 3; подвижно-съёмную кассету 4, представляющую собой каркас с перфорированной и покрытой тефлоном 5 пластиной 6, часть которой с неподвижным зажимом 7 для одного среза испытуемого образца, расположена непосредственно внутри тепловой камеры 1, а вторая часть – вне её. Специальный

монтажный элемент 8 с нанесённой на ней контрольной меткой в деформационно-релаксационном процессе скользит по поверхности специального тефлонового покрытия. Регулируемая по расходу система подачи рабочей среды представляет собой обойму 9 с конденсатоотводчиком и возможностью изменения её положения в пространстве термокамеры 1 относительно испытуемого образца материала.

В состав прибора также входят: система измерения деформационно-релаксационных параметров 10, которая выполнена оптоэлектронной и коммутирована через блок сопряжения с микропроцессором 11, механизм нагружения и разгрузки испытуемого материала, состоящий из подвижного зажима 12, тросика 13, перекинутого через блок 14 и переменного груза 15.

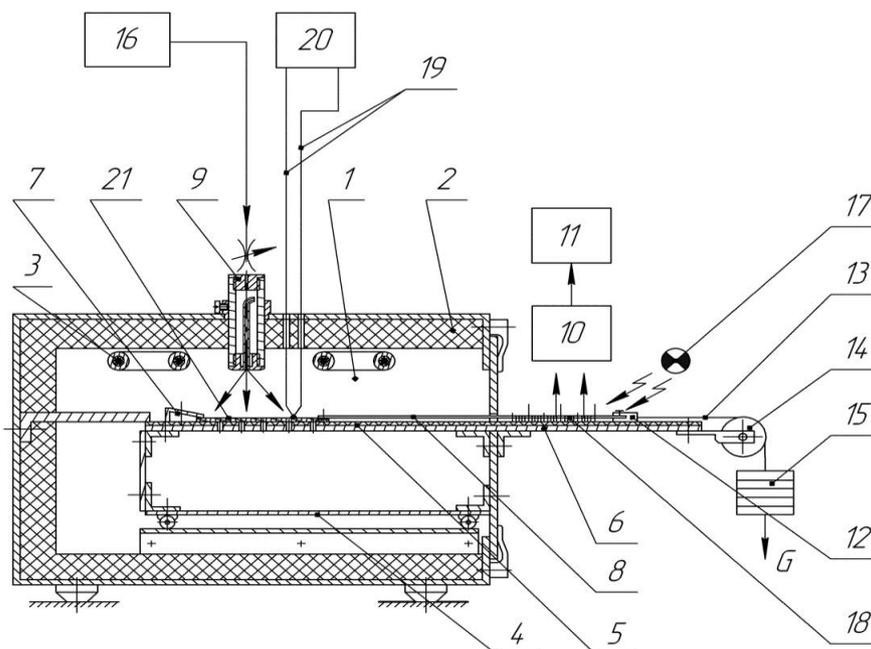


Рисунок 7 - Структурная схема опытного прибора для исследования НДС легкодеформируемых материалов

Для обеспечения технологических требований, воспроизводимости эксперимента и точности исследований в состав устройства дополнительно входят: система подачи и регулирования паровоздушной среды 16, элемент для подсветки контрольной линии 17 и оцифрованная шкала 18. В качестве датчика температурного режима в термокамере установлена медь-константановая термопара 19, которая посредством аппаратных средств 20 позволяет измерять непосредственно температуру рабочей среды и образца.

При анализе методов экспериментального исследования релаксации напряжения при фиксированной деформации, знание кинетики которого позволяет обоснованно выбирать параметры ВТО при формовании и иных термомеханических воздействиях на материал, установлена эффективность оценки параметров релаксации напряжения по изменению динамических характеристик материалов в ходе выполнения технологических процессов, в частности, по изменению спектра собственных колебаний.

В ходе теоретических исследований аналитически была получена модель вынужденных колебаний однородного образца материала и выполнено компьютерное моделирование, из анализа результатов которых 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. Результатом работы явился целый комплекс методов исследований кинетики релаксации напряжения ЛДТМ при фиксированной деформации с использованием волновых процессов.

Одним из наиболее перспективных с точки зрения практической реализации способов является метод, предусматривающий генерацию вынужденных 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 [4]. Структурная схема системы для технической реализации данного метода представлена на рисунке 8.

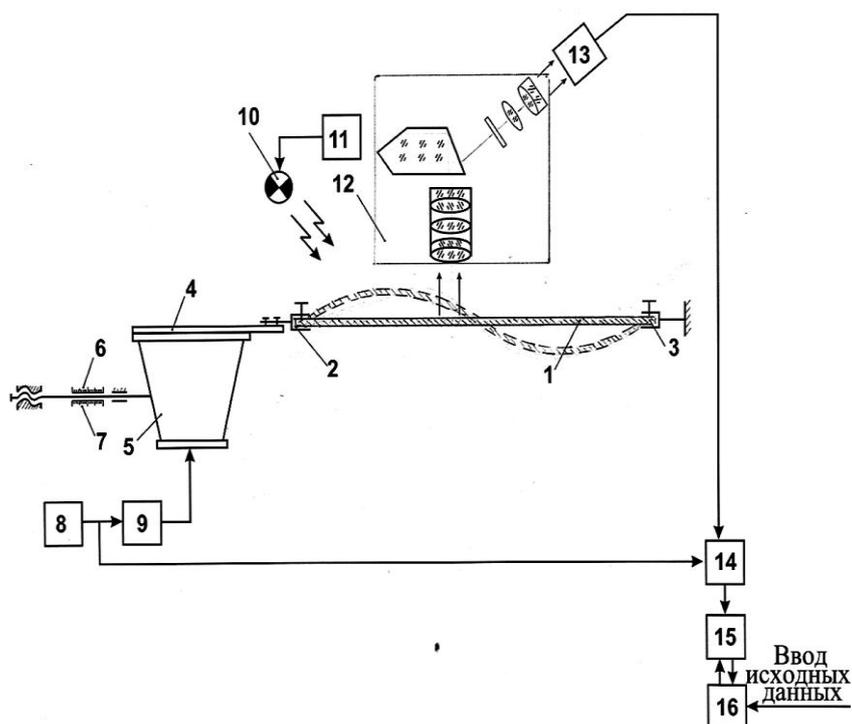


Рисунок 8 - Принципиальная схема для реализации способа оценки НДС ЛДТМ: 1 – образец материала; 2, 3 – зажимы; 4 – резонаторная пластина; 5 – генератор механических колебаний; 6, 7 – оцифрованные шкалы для определения нагрузки и деформации; 8 – генератор звуковых колебаний; 9 – блок усиления; 10 – импульсная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

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 строботачомера и регистрации их частоты по условию появления резонанса посредством системы оптоэлектронных преобразователей со встроенным микропроцессором.

Все рассмотренные методы 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.

Список использованной литературы:

1. **Старкова, Г. П.** Об измерении напряжённо-деформированного состояния материалов методом стробоскопии [Текст] / Г. П. Старкова, А. С. Железняков // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. – 2003. – № 3. – С. 23-26.

2. **Пат. 2302613, Российская Федерация, ПМК G01B 21/32, G01N 33/36.** Способ оценки напряженно-деформированного состояния легкодеформируемых материалов сетчатой структуры [Текст] / Старкова Г.П., Железняков А. С., Шеромова И. А., Слесарчук И. А.; заявитель и патентообладатель Владивостокский государственный университет экономики и сервиса (ВГУЭС). – № 2006100270/28 ; заявл. 10.01.06; опубл. 10.07.07, Бюл. № 19. – 8 с.

3. **Пат. 2266540 Российская Федерация, ПМК G01N33/36.** Устройство для исследования деформационно-релаксационных параметров легкодеформируемых материалов [Текст] / Железняков А. С. Старкова Г. П., Суслова М. Б., Семянников А. Г.; заявитель и патентообладатель Владивостокский государственный университет экономики и сервиса (ВГУЭС). – № 2004111394/28 ; заявл. 14.04.04 ; опубл. 20.12.05, Бюл. № 35. – 6 с.

4. **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 г., Бюл. №10-2008 г.