

ГЛАВА 2. ЭЛЕМЕНТЫ ТЕОРИИ И КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЁННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ВОЛОКНИСТЫХ СИСТЕМ

Анализ производственных и послепроизводственных факторов [51], в значительной мере влияющих на потребительское качество изделий из трикотажных полотен, однозначно показывает, что большая их часть определяется непосредственно физико-механическими характеристиками материалов.

Содержание нормативных документов [5...8,17...19] и предварительные исследования качества трикотажных полотен [26,27] подтверждают, что такие показатели материалов как усадка, линейные размеры полотен и растяжимость при нагрузке меньше разрывной, жёсткость, сужение материалов при одноосном нагружении, устойчивость к многократным деформациям в полной мере трансформируются на факторы качества готовых изделий (см. рис. 1.1, 1.2, 1.3).

Поиск современных объективных экспресс-методов оценки перечисленных параметров влияния на качество готовых изделий - одно из важнейших направлений совершенствования технологического производства трикотажных полотен и кроеных швейных изделий из них.

Для исследования физико-механических свойств материалов необходимы эффективные методы и аппаратные средства, что также важно для объективной оценки влияния технологических операций и процессов на качество конструктивно-технологических блоков (КТБ) швейных изделий.

Во второй главе книги рассматриваются вопросы теоретических и экспериментальных исследований, направленных на поиск и научное обоснование новых методов исследования, разработку современных технических средств определения и анализа важнейших материаловедческих свойств трикотажных полотен и швейных изделий из них.

2.1 Практикуемые методы и технические средства оценки трикотажных полотен и потребительских свойств швейных изделий

Обеспечение уровня качества готовых изделий в соответствии с современными запросами потребителей во многом зависит от наличия объективных

(инструментальных) методов измерения и оценки их потребительских свойств. При оценке качества одежды показатели свойств, оказывающих на человека эмоциональное или эргономическое воздействие, определяются в основном эвристическими методами (экспертный и социологический).

Такими методами, как правило, устанавливается уровень требований потребителей к характеристикам швейных изделий, который, кроме всего, в значительной мере по линии обратной связи формирует коммерческий спрос. Однако для обеспечения стабильности и сохраняемости потребительских свойств готового изделия на этапе его эксплуатации, необходимо с требуемой достоверностью определять перечень его качественных характеристик, зависящих, прежде всего, от фактических материаловедческих показателей трикотажных полотен, устанавливаемых соответствующими стандартами и другими нормативными документами.

Качество готовых швейно-трикотажных изделий оценивается по отраслевым специализированным обязательным и необязательным показателям. Следует отметить, что к общим показателям качества относятся параметры, определение которых является обязательным для изделий всех классификационных групп.

На рисунке 1.1 (см. главу 1) показано, что для исследования общих и специализированных показателей качества трикотажных полотен и изделий из них, обычно используют стандартные методы и соответствующие технические средства измерений [22...25].

Однако в связи с полученными ранее результатами исследований степени влияния факторов на качество швейных изделий из трикотажных полотен (см. рис.1.3), наибольший интерес представляют показатели деформационно-релаксационных свойств, усадка, формоустойчивость, жёсткость (драпируемость), особенно значимо проявляющиеся при конструкторско-технологической подготовке производства, в процессах изготовления и эксплуатации изделий.

При переработке длинномерные материалы подвергаются разнонаправленным деформациям при нагрузках, значительно меньших разрывных, но действующих длительное время и в разных влажностно-температурных условиях. Это обстоятельство не всегда учитывается при проектировании технологических процессов и технических средств обеспечения системы подготовки материалов к раскрою в производстве швейных изделий из трикотажных полотен, что особенным образом отражается на качестве готовой продукции, расходных характеристиках полотна на единицу изделия и экономические показатели производства в целом [51].

Для определения полной деформационной характеристики материала и её составных частей, оценки растяжимости полотен при нагрузках меньше разрывных, иногда используют релаксометры различного технического исполнения.

Наибольшее распространение получили релаксометры типа «стойка» [33,38,52...56,64], т.к. они конструктивно просты и позволяют производить одновременно испытания до шести образцов элементарных проб при постоянном усилии или при постоянном заданном удлинении. Для записи нагружения образцов и релаксации напряжения в них обычно используют тензометрические схемы [30,33,64].

Для исследования деформационно-релаксационных процессов материалов в условиях повышенных температур и влажности, релаксометры оснащают тепловыми камерами с использованием паровоздушной среды.

Однако общим недостатком приборов, основанных на тензометрии, является несовершенство действующих систем измерения и регистрации НДС полотна перед получением деталей кроя, так как возникают дополнительные погрешности вследствие измерительного воздействия.

Параметры обработки изделий и полотен, декларируемые как процессы влияния на качество, в необходимой мере не сформулированы в количественных физических характеристиках. Однако нет сомнения в том, что необходимость объективного определения степени релаксации напря-

жения при фиксированной деформации материала обусловлена требованиями обеспечения формоустойчивости изделий. Так как устойчивость формы изделия зависит от процессов окончательной влажно-тепловой обработки (ВТО) кроеных изделий, то на данном этапе необходимо обеспечивать полный цикл релаксации напряжения в материале. В противном случае создаются исходные условия, при которых изделие теряет формоустойчивость, что отражается на его размерных параметрах, внешнем виде и эксплуатационных показателях.

Поэтому в реальных условиях технологического производства исключительно значение имеет точность и продолжительность режима релаксации напряжения при фиксированной деформации в условиях соответствующих проектируемому процессу ВТО.

Анализ перечня технических средств и способов исследования деформационно-релаксационных процессов трикотажных полотен показывает, что используемые схемы обладают ограниченными измерительными и технологическими возможностями вследствие их невысокой чувствительности и точности определения информативных параметров.

Усадка трикотажных полотен также входит в группу факторов, имеющих значительное влияние на качество швейно-трикотажных изделий (см. рис. 1.3), для исследования которых существует стандартная методика и соответствующее аппаратное обеспечение в виде приборов УТ-1 или УТ-2 [57,58].

Реально существуют методы и ряд технических средств [59,64] для определения усадки легкодеформируемых материалов, общим недостатком которых является низкая точность оценки или сложность практического использования в производственных условиях. Предлагаемые и действующие методы никак нельзя отнести к классу экспресс-методов, что снижает условия технологической адаптивности и общей эффективности подобных измерительных систем.

Для исследования деформационных свойств материалов стандартные методики существуют только для полотен при растяжении (в частности, растяжимость при нагрузках меньше разрывных, эластичность, остаточная деформация), а также для исследования жёсткости волокнистых систем.

Для определения жёсткости легкодеформируемых материалов используются два метода и типа приборов:

- приборы, на которых материал изгибается под действием распределенной нагрузки (собственной силы тяжести пробы) – консольный метод (прибор ПТ-2) [60], метод переменной длины (изменяют длину образца);

- приборы, на которых материал изгибается под действием сосредоточенной нагрузки – метод кольца, для материалов, имеющих абсолютный прогиб менее 10мм (ПЖУ-12М) [61] и значительную жесткость. Параметр жёсткости определяется величиной нагрузки, необходимой для прогиба согнутой кольцом пробы на 1/3 первоначального диаметра.

Одним из основных недостатков этих систем и методов является отсутствие возможности получения различных видов деформации в элементарной пробе, что не соответствует реальным условиям эксплуатации изделий. Известные устройства позволяют исследовать и оценить лишь один вид деформации под действием сосредоточенной нагрузки методом кольца или консоли вследствие изгиба вдоль одной стороны элементарной пробы.

Для определения драпируемости в существующем классификаторе свойств трикотажных полотен (см. рис.1.1) в стандартных методиках не заявлено. Однако показатель драпируемости в лабораторных условиях определяется или методом иглы или дисковым методом [59]. При этом драпируемость характеризуется соотношением размеров осевых линий, проведенных через центр проекции пробы вдоль петельных рядов и столбиков.

Недостатками существующих и упоминаемых в работах [62,63] методов и устройств являются или в производственных условиях их реальное отсутствие, как таковых, или технологические сложности и значи-

тельная продолжительность проведения испытания. В производственных условиях использование предлагаемых методов процедурно усложнено и практически невозможно автоматизированное формирование базы данных на электронных носителях информации.

Одним из важных свойств трикотажных полотен специалистами-экспертами также выделена продольная и поперечная деформация материала (см. рис. 1.4), как факторы, имеющие значительное влияние на качество кроеных швейных изделий.

К недостаткам приборов для определения поперечной деформации текстильных материалов необходимо отнести технологические ограничения, возникающие в большей степени при исследовании трикотажных полотен, связанные с наличием такого факта, как возникновение краевого эффекта при одноосном нагружении, представляющего собой появление спиралевидной кромки по боковым срезам образца. Расправление спиралевидной кромки посредством ручных приемов или за счет двух ограничивающих плоскостей [65] создает дополнительные труднопрогнозируемые погрешности и технологические сложности.

Поведение материалов при их обработке в различных условиях контактного взаимодействия с рабочими органами технологического оборудования и эксплуатации готовых изделий регламентировано соответствующими нормативными документами. Однако разработка способов изучения деформационно-релаксационных характеристик трикотажных полотен в контексте их технологической применимости, а также создание принципиально новых методов и технических средств требует дальнейшего технологического обоснования и научного поиска.

Рассмотрим результаты теоретических исследований и компьютерного моделирования процессов обработки волокнистых систем в контексте научного обоснования новых методов, поиска и разработки современных технических средств измерения технологических свойств трикотажных полотен и, соответственно, швейных изделий из них.

2.2 Аналитические модели деформационно-релаксационных процессов при обработке трикотажных полотен

Прогнозирование технологических свойств трикотажных полотен при различных уровнях контактного взаимодействия с рабочими органами технологического оборудования особенно необходимо, когда лабораторные и производственные методы испытаний затруднены. В этих случаях предпочтительным, а иногда единственно возможным, является использование модельных методов исследования и адаптация результатов моделирования к практическому решению технологических задач.

Механические характеристики швейных легкодеформируемых материалов, как впрочем, и других твёрдых тел, оцениваются обычно прочностными и деформационно-релаксационными свойствами. Что касается прочностных характеристик волокнистых систем и создания инструментальных методов оценки, то эти задачи достаточно полно разработаны и в необходимой для практики мере изучены [104]. Однако разработка способа изучения деформационно-релаксационных свойств трикотажных полотен посредством моделирования, а также создание необходимых экспериментальных методов их исследования требуют дальнейшего технологического обоснования и научного поиска.

Это обстоятельство становится особенно важным в связи с тем, что в условиях производства, переработки и эксплуатации кроеные швейные изделия из легкодеформируемых трикотажных полотен подвергаются разнонаправленным деформациям. При этом сами материалы подвергаются нагрузкам, значительно меньшим, чем разрывные, но действуют длительное время в разных влажностно-температурных и пространственных условиях.

При действии факторов нагружения особенно отчётливо проявляется деформационно-релаксационный характер поведения легкодеформируемых материалов. К большому сожалению, эти обстоятельства далеко не всегда учитывают при проектировании технологических процессов и технических средств обеспечения системы ПРК в производстве швейных изделий (ПРК ПШИ), что значительно влияет на исходное качество изделий, рациональность расхода ма-

териалов и эксплуатационные характеристики. Причиной тому является недостаточные знания и, соответственно, не сформулированные потребности исследования основных закономерностей протекания деформационно-релаксационных процессов, особенно для новых видов материалов, предлагаемых предприятиями, производящими ткань и трикотаж.

Для исследования процесса и прогнозирования качественной картины релаксации напряжения при постоянной деформации материала (при формообразовании в процессе ВТО) достаточно успешно могут быть использованы методы моделирования на базе построения механических аналогов, дающих представление о деформационно-релаксационных свойствах легкодеформируемых материалов при формовании нагружением и после снятия нагрузки [76...79,80].

Рассматривая вопросы НДС материалов в рамках подготовки трикотажных полотен для производства кроеных швейных изделий, возникает первая часть задачи аналитического исследования релаксация напряжения при фиксированной деформации.

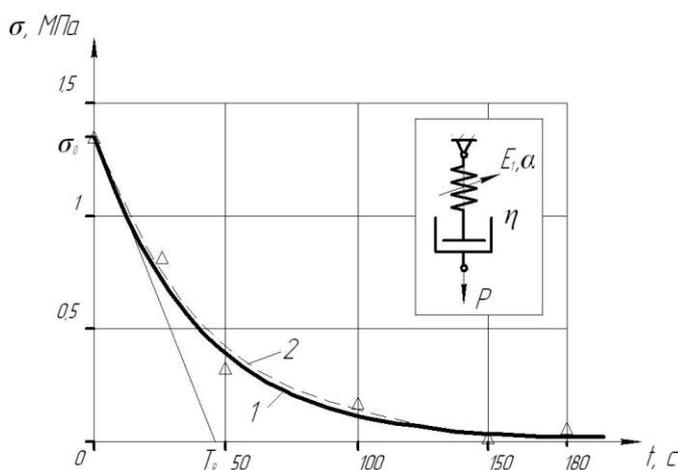


Рис. 2.1- Результаты моделирования и экспериментальные значения релаксации напряжения при фиксированной деформации образцов трикотажных полотен, волокнистый состав х.б.- 97%, эластан - 3% при $\theta = 20C^0$, 1,2- соответственно экспериментальная и моделируемая негуковской пружины Лидермэна зависимости релаксации напряжения с учетом ($E \neq const$).

При нелинейности поведения легкодеформируемых материалов при нагружении их в области вязко-упругой и пластической деформации, что реально имеет место быть, необходимо при моделировании учитывать параметр изменения модуля упругости (E)(рис. 2.1).

Математическая модель для деформационно-релаксационной системы с переменным модулем упругости $E = f(\sigma)$ может быть представлена в виде дифференциального уравнения [14].

$$\frac{d\varepsilon}{dt} = \frac{1}{E_1} (1 + 2\alpha\sigma) \frac{d\sigma}{dt} + \frac{\sigma}{\eta}, \quad (2.1)$$

где α - коэффициент изменения модуля упругости, η - вязкость демпфера (см. рис. 2.2).

В случае релаксации напряжения (усилия) при $\varepsilon = const$

$$\sigma(t) \cdot e^{2\alpha[\sigma(t) - \sigma_0]} = \sigma_0 \cdot e^{-\frac{t}{T_R}}, \quad (2.2)$$

где T_R - постоянная времени процесс релаксации напряжения, $\sigma(t)$ - текущее значение напряжения, σ_0 - начальное напряжение при нагружении.

Решение трансцендентного уравнения (2.2) относительно напряжения $\sigma(t)$ возможно численными методами. Воспользовавшись математическим аппаратом MathCad, запишем

$$\sigma \cdot e^{2\alpha(\sigma - \sigma_0)} = \sigma_0 \cdot e^{-\frac{t}{T_R}} \text{ solve, } \sigma(t) \rightarrow \frac{\text{LambertW}(2\alpha\sigma_0 e^{-\frac{t-2T_R\alpha\sigma_0}{T_R}})}{2\alpha}. \quad (2.3)$$

То есть.

$$\sigma(t) = \frac{W(2\alpha\sigma_0 e^{-\frac{t-2T_R\alpha\sigma_0}{T_R}})}{2\alpha}, \quad (2.4)$$

где W -функция Ламберта, которая может быть определена с некоторым приближением с помощью рекуррентного соотношения [83]:

$$W_{i+1} = W_i - \frac{W_i e^{W_i} - x}{e^{W_i}(W_i + 1) - \frac{(W_i + 2)(W_i e^{W_i} - x)}{2W_i + 2}}, \quad (2.5)$$

где $x = 2\alpha\sigma_0 e^{\frac{t-2T_R\alpha\sigma_0}{T_R}}$ – аргумент функции Ламберта [82], рассчитываемый для оперативности вычислительных действий при введении ограничения $|X| < \frac{1}{e}$ и разложением в ряд Тейлора.

Вычисления начинается со значения $W_1 = 0$ и продолжаются методом итераций до выполнения условия:

$$W_{i+1} - W_i < \xi, \quad (2.6)$$

где ξ - заданная точность вычисления функции.

Исследования данной функции реально занимают продолжительное время, а если учитывать, что потребуются вычислять ее значения во многих точках, то целесообразней воспользоваться приближенными формулами расчета [83].

$$W(x) \approx \begin{cases} 0,665(1 + 0,0195 \ln(x+1)) \ln(x+1) + 0,04; & 0 < x \leq 500 \\ \ln(x-4) - (1 - \frac{1}{\ln(x)}) \ln \ln(x); & x > 500 \end{cases} \quad (2.7)$$

Однако, как следует из соотношения (2.4), зная T_R , α и σ_0 , возможно вычисление значений напряжений при фиксированной деформации в течение фиксированного времени. При этом возможно моделирование процесса релаксации напряжения при $\varepsilon = const$ варьированием параметров T_R , α и σ_0 .

Одним из важных вопросов решения общей задачи является выбор значения α , чтобы модельный процесс в необходимой степени соответствовал действительности. Перебор значения α в данном случае особенного вычислительного смысла под собой не имеет, так как в процессе релаксации напряжения его значения тоже изменяются, т.е. α является величиной, функционально зависящей от начальных условий, среды воздействия и от времени.

Выразим из уравнения (2.4) зависимость $\alpha = f(\sigma_0, \sigma(t), t, T_R)$

$$\alpha[\sigma_0, \sigma_s(t), t, T_R] = -\frac{\ln \left[\frac{\sigma_0 e^{-\frac{t}{T_R}}}{\sigma_s(t)} \right]}{2(\sigma_0 - \sigma_s(t))}, \quad (2.8)$$

где $\sigma_0, \sigma_s(t)$ и T_R - в данном случае определяются из результатов экспериментальных исследований (см. рис.2.1). Эти параметры могут иметь иной или заданный характер изменений в зависимости от модуля упругости материала при действии внешних факторов, исследования которых выходит за рамки области рассматриваемых задач настоящей книги.

С использованием математического пакета MahtCad нетрудно и возможно подобрать такую закономерность α , которая бы соответствовала экспериментально полученным данным. Как видно из расчётного графика, значения $\alpha \rightarrow$ к 0, но со временем убывает (в область незначимо малых чисел) по закону близким к линейному (рис. 2.3).

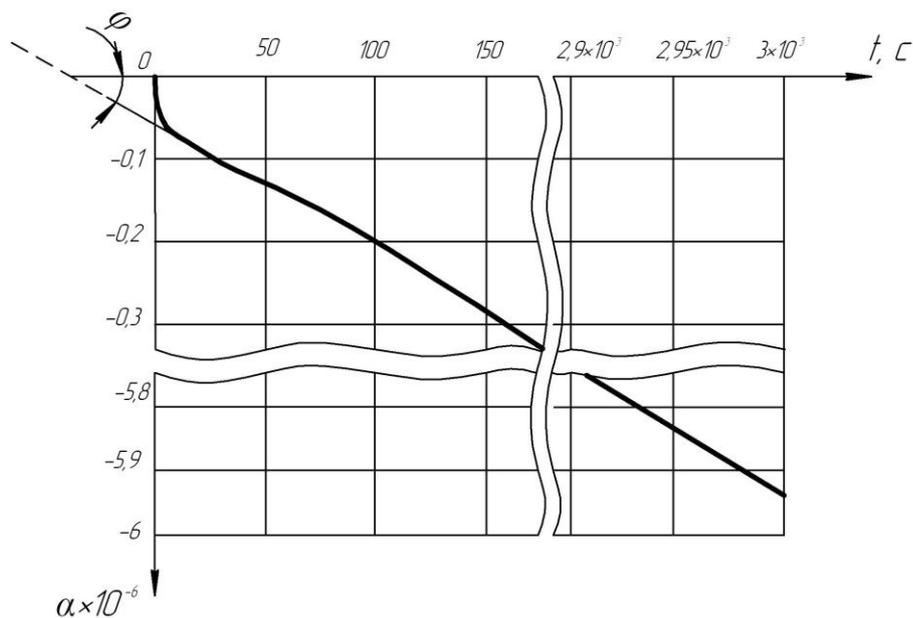


Рис. 2.2 – Зависимость коэффициента $\alpha(t)$

Через определённый и значительный промежуток времени показатель α перестаёт вычисляться по причине невозможности деления функции на «0».

Из рисунка 2.2 видно, что расчётная зависимость $\alpha(t)$ при рассмотрении параметров в реальном уровне параметров носит линейный характер, что

позволяет моделировать процесс релаксации напряжения изменением угла наклона φ к линии $\alpha(t)$.

С учётом этого преобразуем выражение (2.4) к виду

$$\sigma(t) = \frac{W \left[2tg(\varphi)t\sigma_0 e^{-\frac{t-2T_R\sigma_0tg(\varphi)t}{T_R}} \right]}{2tg(\varphi)t} \quad (2.9)$$

Запишем аргумент функции Ламберта в виде

$$x(t) = 2tg(\varphi)t\sigma_0 e^{-\frac{t-2T_R\sigma_0tg(\varphi)t}{T_R}} \quad (2.10)$$

При выборе $x(t)$ следует учитывать и то, какие возможные значения может принимать аргументы функции (2.10).

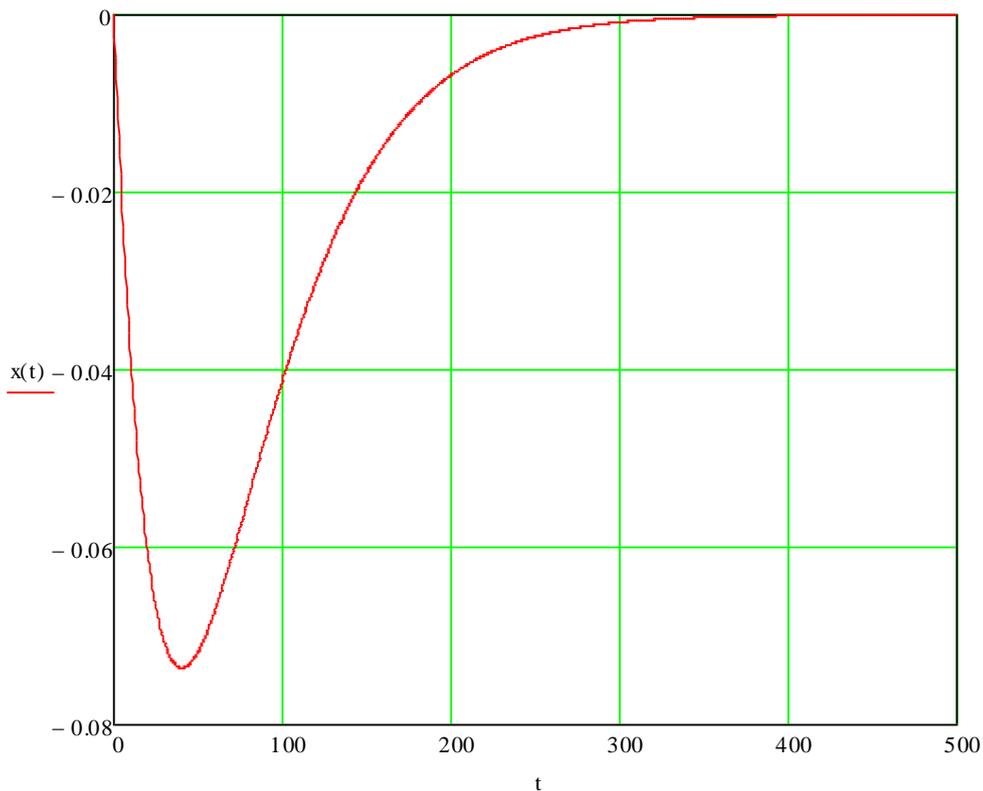


Рис. 2.3 -Функция изменения аргумента $x(t)$

Воспользуемся полученными значениями коэффициента $\alpha(t)$ и построим с использованием программного продукта MahtCad зависимость изменения

аргумента функции Ламберта во времени посредством разложения введённых ограничений в ряд Тейлора (рис. 2.3).

Анализ численных значений аргумента $x(t)$ показывает, что диапазон его изменения также находится в области малых чисел и \rightarrow к «0». Отсюда следует доказательство и возможность моделирования процесса релаксации напряжения без учёта коэффициента изменения модуля упругости (E) неогукской пружины, соответствующей механической модели Максвелла-Лидермана.

Подтверждением тому могут служить экспериментальные и расчётные зависимости релаксации напряжения при фиксированной деформации с учетом и без учета коэффициента α , (см. рис. 2.1), которые показывают вполне удовлетворительную их сходимость.

На основании результатов физических экспериментов и приведенных расчетов можно сделать вывод о допустимости при моделировании релаксации напряжения для условий $\varepsilon = const$ и $\sigma_{t=\infty}$ не учитывать наличие параметра переменной жёсткости негукской пружины. Предлагаемая методика позволяет оценивать погрешность моделирования и значительно упрощает прогнозирование НДС волокнистых легкодеформируемых материалов при $\varepsilon = const$ и одновременно позволяет вносить необходимые поправки в расчётные параметры.

Таким образом, исходя из практических требований и принятых допускаемых погрешностей при исследовании НДС легкодеформируемых материалов, можно с учётом физики процесса ввести с прогнозируемыми погрешностями допущения и перевести на определённой стадии исследования деформацию в

разряд гукской и с условиями, что $\alpha = 0$ и $\varepsilon_{np} = \frac{\sigma}{E_1}$.

Принятое допущение позволяет перейти к рассмотрению обобщённого упруго-вязкого тела в виде двухпараметрической механической модели, описывающей процесс релаксации напряжения с фиксированными параметрами при постоянной деформации без учёта нелинейности.

При рассмотрении задачи в такой постановке обозначим модуль упругости, теперь уже условно Гуковского элемента, через E_0 , а коэффициент вязкости демпфера (элемент Ньютона) - через η , $\left[\frac{нс}{м^2} \right]$. В этом случае уравнение (2.1) можно записать в виде

$$\dot{\varepsilon} = \frac{\dot{\sigma}}{E_0} + \frac{\sigma}{\eta}. \quad (2.11)$$

Отсюда получим решение дифференциального уравнения упруго-вязкого тела модели Максвелла, представленной в работе [14], т.е.

$$\sigma(t) = \sigma_0 e^{-\frac{t}{T_R}}. \quad (2.12)$$

Из выражения (2.12) следует, что для моделирования и выполнения практических расчётов необходимо, принимая процесс монотонным, знать постоянную времени (T_R) релаксации напряжения (σ_0), «читай релаксации усилия (P)» при фиксированной деформации, т.е. при $\varepsilon = const$.

В теоретическом аспекте решение этой задачи также представляет собой определённую сложность, так как отсутствуют аналитические соотношения, связывающие кинетические характеристики релаксационных переходов с факторами внешнего воздействия.

Однако при действии различных внешних факторов «постоянная времени» (T_R) релаксации напряжения может быть получена экспериментальным путём (см. рис. 2.1), а исходное значение (σ_0) вычислительными действиями (2.12). Для получения текущих значений модуля упругости легкодеформируемых материалов, как это было ранее отмечено, требуются специальные исследования.

Придание изделию из трикотажного полотна проектной формоустойчивой конфигурации, устранение складкообразований на поверхности детали, увеличение её площади и т.д. возможно, когда при фиксированных значениях составляющих деформации создаваемое напряжение при обработке практиче-

ски полностью релаксирует [90...92].

Однако практика обработки трикотажных полотен показывает, что при $t \rightarrow \infty$ в материале могут сохраняться остаточные напряжения (σ_∞), которые характеризуются появлением некоторого значения пластической составляющей деформации, присутствующей наряду с вязкоупругим деформированием и как бы «вплетённым» в неё.

Вплетение в общую деформационную палитру пластической составляющей деформации, что в действительности имеет место быть, при общей качественной схожести характеристик релаксация напряжения, в некоторой степени имеет отличительный характер, хотя и не меняется характер закономерности протекания процесса. Без дополнительного внешнего воздействия в течение продолжительного времени можно наблюдать наличие нерелаксированной составляющей напряжения. В этом случае релаксационная картина напряжения, как вариант, принципиально может моделироваться трёхпараметрической моделью Кельвина-Фойгта-Лидермана [76,79].

Для технического обеспечения заданной деформации изделий в свободном ненапряжённом состоянии необходимо знать режимы и время действия рабочих органов, что зависит от вида материала, условий формования требуемой конфигурации и действия внешних факторов (температуры, влаги и т.д.).

Вследствие той же деформационной нелинейности поведения трикотажных полотен для их исследования в условиях постоянной деформации в качестве упругого элемента при теоретическом рассмотрении вопроса может быть так же предложен элемент нео-гуковской пружины. Деформация нео-гуковской пружины (ε_{np}) в этом случае моделируется упомянутым выше образом (2.1).

Исходя из практического опыта, результатов проведенных ранее расчётов коэффициента $\alpha(t)$ (см. рис. 2.3) и принятых допускаемых погрешностей при проектировании НДС легкодеформируемых материалов можно с определённым

допущением принять, что $\alpha(t) = 0$, $\varepsilon_{np} = \frac{\sigma}{E_1}$.

Такой подход даёт возможность перейти к рассмотрению обобщённой модели упруго-вязкого тела, когда $\sigma_\infty \neq 0$, в виде трёхпараметрической механической модели, описывающей процесс релаксации напряжения при постоянной деформации без учёта нелинейности, а также действия температуры, влаги и т.д.

При таком допущении и наличии пластической составляющей деформации, если обозначить модули упругости нео-гуковских элементов H_0 и H_1 через E_0 и E_1 , а коэффициент вязкости демпфера (элемент Ньютона) - через η , $\left[\frac{нс}{м^2} \right]$, то напряжения в этих элементах допустимо представить в виде соотношений, приведенных в работе [14,28].

В общем случае аналитическое решение задачи в такой постановке имеет следующий окончательный вид

$$\sigma(t) = \sigma_\infty + \sigma_0 e^{-\frac{t}{T_R}}, \quad (2.13)$$

где $\sigma(t)$ - напряжение материала в момент времени t ; σ_∞ , σ_0 , T_R - константы, характеризующие реологические свойства материала.

Полученное уравнение релаксации напряжения при постоянной деформации и фиксированных тепловых и временных режимах, рассматриваемое в области вязкоупругих значений, соответствует уравнению Кольрауша-Слонимского [14].

Обеспечение нулевого значения остаточного напряжения ($\sigma_\infty = 0$) возможно при дальнейшей обработке легкодеформируемого материала под воздействием внешних факторов, например, дополнительным действием паровоздушной среды.

Сложность теоретического расчёта кинетики релаксации напряжения при постоянной деформации ($\varepsilon = const$) для моделей (2.12 и 2.13) в общем случае так же характеризуется сложностью определения параметров $E_\infty = f(E_0, E_1)$, $T_R = f(\eta, E_0, E_1)$, E_1 и η , что требует глубокого научного поиска и разработки

экспериментальных методов исследования кинетических характеристик легкодеформируемых волокнистых материалов.

Из выражений (2.12 и 2.13) следует, что для выполнения практических расчётов необходимо знать «постоянную времени» (T_R) релаксации напряжения $\sigma(t)$ или усилия (P) при фиксированной деформации.

Данные экспериментальных исследований (см. рис. 2.1) подтверждают непрерывность и плавность характера функции $\sigma(t)$, что позволяет с достаточной для практики эффективностью решать технологические задачи и использовать теоретико-экспериментальный подход к построению математической модели релаксации напряжения ($\sigma = f_1(t)_{\varepsilon=const}$) или усилия $P = f_2(t)_{\varepsilon=const}$ в количественных соотношениях.

2.3 Компьютерное моделирование деформационно-релаксационных процессов волокнистых систем

Рассматривая задачи и вопросы компьютерного моделирования НДС легкодеформируемых материалов, становится всё более очевидным, что для проектирования изделий необходимы исходные характеристики материалов и некоторые соотношения в установившемся состоянии, которые могут быть определены только экспериментальным путём. И это прежде всего имеет отношение к практическим потребностям по определению деформации материалов в продольном (ΔL) и поперечном направлении (ΔH), значений условного коэффициента Пуассона (μ) и объёмного модуля деформации (K).

При выполнении необходимой программы исследований потребовалась разработка методов компьютерной технологии измерения поперечной и продольной деформации с возможностью формирования базы данных на совместимых электронных носителях информации. Разработка метода предусматривает и возможность оценки параметра сужения трикотажных материалов с учётом их особенностей при одноосном деформировании в продольном направлении.

И что самое важное при рассмотрении этого вопроса это создание возможности компьютерного моделирования деформационных характеристик материалов разного волокнистого состава, плотности и различных режимах нагружения при взаимодействии материалов с рабочими органами технологического оборудования с формированием базы данных на электронных носителях.

В работе [3] показано, что наиболее важными свойствами легкодеформируемых текстильных материалов (ЛДТМ) в производстве кроеных швейных изделий, в частности, из трикотажных полотен и других волокнистых систем, практически влияющих на всех этапы их жизненного цикла [16], являются их деформационные свойства.

Результаты исследований деформационных свойств трикотажных полотен необходимы, прежде всего, при назначении конструктивных параметров и режимов отделочных операций, конфекционировании и при разработке информационно-технологического обеспечения процессов ПРК.

Исчерпывающее решение данной задачи принципиально возможно при наличии объективной инструментальной оценки важнейших показателей качества трикотажных полотен на различных этапах жизненного цикла, одним из которых являются обеспечение размерного соответствия построения конструктивно-технологических блоков (КТБ) изделий из кроеных деталей.

Успешное решение этой задачи зависит от точности воспроизведения конфигурации и линейных размеров деталей кроя при их производстве и эксплуатации, а также выполнения декатировочных процессов (обеспечение нормативной усадки) и решения размерной задачи на базе теории размерных цепей [38,85].

Одним из ключевых вопросов достижения размерного соответствия деталей кроя и изделий является точность исходной информации о линейных характеристиках материалов, видах координат и размеров пороков, так как их количественные и качественные параметры являются базовыми для всех после-

дующих технологических операций ПРК и обеспечения эксплуатационных требований к готовым изделиям.

Следует отметить, что точность измерения линейных характеристик материалов регламентируется соответствующими нормативными документами [86]. Однако реально действующие условия в обеспечении требуемой точности измерения параметров трикотажных полотен при выполнении ПРК ПШИ далеко не соответствуют установленным нормативам [16,29], что порождает целый ряд проблемных задач, связанных с обеспечением качества кроеных швейных изделий.

Исследованиям и разработкам в области совершенствования методов, технических и аппаратных средств измерения линейных параметров материалов при их входном контроле посвящено значительное количество работ [66...75], где можно найти соответствующие ответы на весь необходимый перечень возникающих вопросов и даны проверенные в практике рекомендации.

Из результатов научно-технического анализа уровня этих разработок следует, что множество инструментальных средств, по сути, представляя собой современные технические решения, потенциально могут обеспечить требуемые нормативные параметры точности измерения линейных характеристик материалов, как базовую основу для достижения размерной точности деталей кроя.

Однако все реально действующие методы и инструменты не учитывают деформационную предысторию, активное деформационно-релаксационное поведение материалов в ходе технологической обработки и их дальнейшей эксплуатации.

И если принимать во внимание деформационную предысторию трикотажных полотен, которая может достигать 8% [30,31] без учёта возникающей дополнительной деформации материалов при выполнении комплекса технологических операций, то это обстоятельство ещё в большей мере, чем другие факторы определяет погрешность деталей и готовых изделий. Этот фактор влечёт за собой такие показатели качества готовых изделий, как их посадку при надевании, внешний вид, размерное соответствие и т.д.

В связи с этим в рамках выполнения программы исследований на базе результатов научно-технического поиска определены основные направления и предложены конкретные решения обозначенных проблем с учётом деформационных характеристик материалов [41].

Одним из текущих вопросов, стоящих в одном ряду актуальностей сформулированных задач, которые необходимо решать при выполнении конструкторско-технологической подготовки производства кроеных швейных изделий из трикотажных полотен, впрочем, как и других текстильных материалов, является прогнозирование деформационных характеристик, релаксация напряжения, сопровождаемая усадкой (ε) материалов при ($\varepsilon \neq const$), а также при ($\varepsilon = const$) и определение её численных параметров.

Прогнозирование НДС трикотажных полотен представляет собой непростою научную и практическую задачу, что, естественно, требует поиска и анализа существующих подходов, методик, применяемых при обработке материалов в рамках рассмотрения механики деформируемого твёрдого тела.

В настоящей монографии рассматривается методика использования современного программного компьютерного продукта, применяемого для решения задач исследования НДС волокнистых систем на базе использования метода конечных элементов (МКЭ).

В настоящее время МКЭ широко используется при проектировании и анализе технических систем, который позволяет на интерактивном уровне обеспечить имитационное моделирование волокнистых систем на основании подробного описания их геометрии, свойств материалов, эксплуатационных характеристик и иных исходных данных, указываемых пользователем при проектировании инновационных технологий.

Из этого посыла следует, что если иметь возможность измерения усилий, которые испытывают материалы при взаимодействии с рабочими органами технических средств, и модельные методы определения деформаций, представляется возможным решать одну из важнейших задач входного контроля материалов, в частности, задачу измерения линейных параметров длинномерных

материалов с требуемой точностью. Это позволяет посредством более простых в техническом отношении измерительных систем решать технологическую задачу. Ограничением для исследований в этом направлении является сложность моделирования реального строения волокон и построения связей с вероятностными физико-механическими и геометрическими свойствами волокнистых систем.

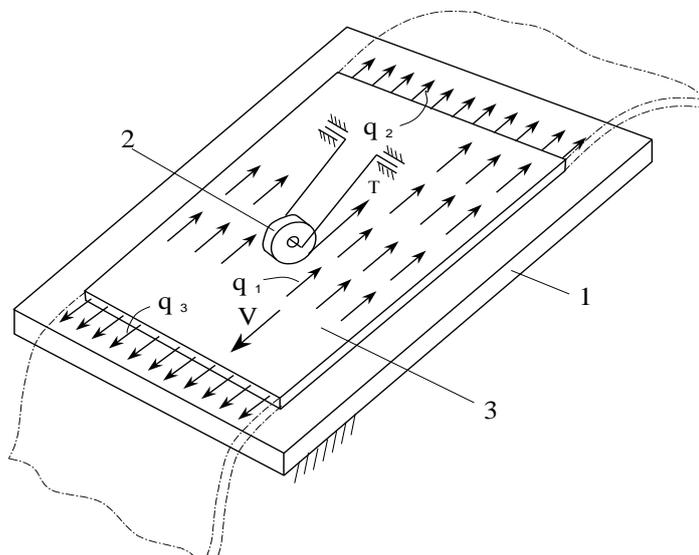


Рис. 2.4. Расчетная модель нагружения материала при его транспортировании по технологическому тракту

Для моделирования деформационных характеристик волокнистых материалов рассмотрим расчётную схему нагружения движущегося полотна по технологическому тракту (рис.2.4). В качестве расчетной модели, как наиболее характерной, выбрана технологическая операция измерения длины текстильного материала в рулоне.

Данная физическая модель позволяет определить распределение деформаций при взаимодействии обрабатываемого материала с рабочими органами технологического оборудования, например, контрольно-мерильной машины с роликовым преобразователем перемещений [13].

Расчетная схема (см.рис. 2.4) состоит из движущегося материала 3, поверхности наклонного экрана 1 контрольно-мерильной машины и, взаимодействующего с волокнистой системой, ролика 2.

Согласно схеме на материал действует сосредоточенная сила T , состоящая из силы трения материала по столу от веса ролика и приведённой силы его трения в опорах качения ролика.

Действует также распределённая по всей поверхности контакта удельная нагрузка полотна от его трения по столу (q_1), от натяжения материала при размотке (q_2) и уравнивающая удельная нагрузка (q_3) от привода транспортирования волокнистой системы. В результате предварительных расчётов получены следующие исходные данные [41].

$$T = 0,227 \text{ Н}; q_1 = 5,75 \text{ Па}; q_2 = 3,91 \text{ Н/м}; q_3 = 6,39 \text{ Н/м}.$$

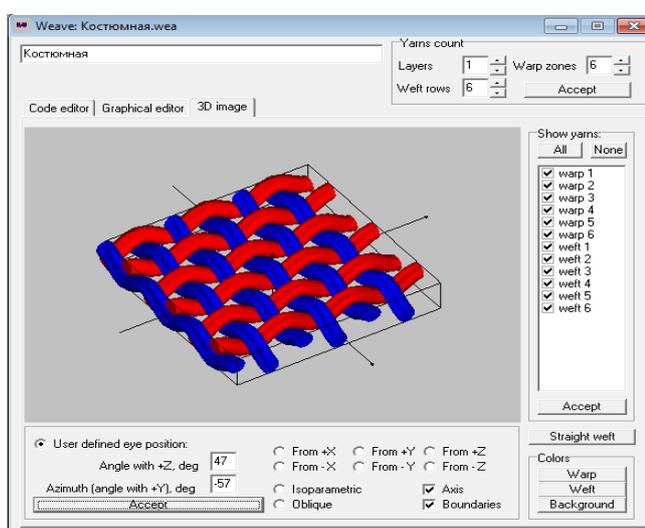


Рис. 2.5- Панель моделирования переплетения нитей в среде WiseTex.

Наряду с необходимостью компьютерного моделирования деформационных параметров легкодеформируемых материалов рассмотрим возможности построения информационной технологии, связывающей свойства волокон, нитей и волокнистой системы в целом, позволяющей осуществлять прогнозирование деформационных характеристик волокнистых систем в условиях их дальнейшей переработки или эксплуатации.

Из работ зарубежных авторов по данному научному направлению интерес представляют исследования, проводимые группой ученых в Католическом университете г Лёвена [87,88]. Результатом их исследований явилось создание компьютерной среды моделирования WiseTex, которая включает модели внутреннего строения материала в свободном и деформированном состоянии, её со-

противления сжатию, растяжению и сдвигу (рис. 2.6). Аналогичный препроцессор DYNABAB™ используется для создания конечно-элементных моделей ткани полотняного переплетения и однонаправленных структур.

К составляющим описания внутреннего строения текстильного материала относятся структура нитей, обобщенное кодирование переплетения с учётом принципа минимума энергии для расчета пространственного положения нитей

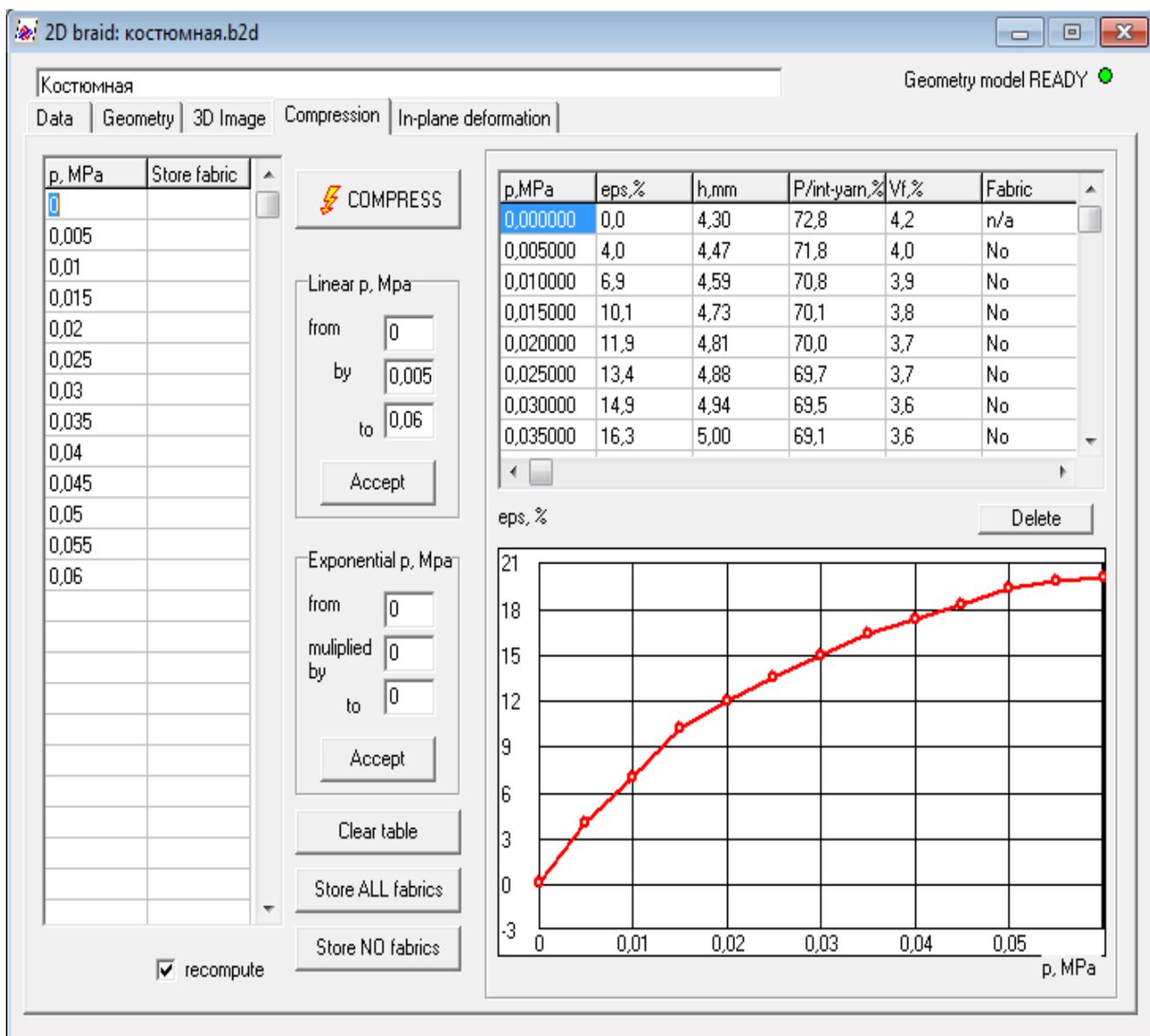


Рис. 2.6 -Панель результатов моделирования характеристик материала в деформированном состоянии при моделировании в среде WiseTex.

и описание геометрии волокон внутри нити. Иерархия построения структуры открывает путь к обобщенному модульному подходу моделирования текстиль-

ных материалов, используя принцип гомогенизации, обобщающий свойства на нижнем и верхнем уровнях структуры.

Согласно постановке задачи в данной работе моделирование структуры волокнистой системы представлено на примере ткани полотняного переплетения. При моделировании НДС виртуальной ткани с известными свойствами нитей и заданным переплетением построена диаграмма с координатными осями относительной деформации и напряжения при растяжении (рис. 2.7).

Численные значения таблицы могут быть использованы для определения модулей упругости и пластичности при билинейной аппроксимации полученных в связи с этим данных.

Однако подобная система определения параметров упругости и пластичности для волокнистых систем носят условный характер и их использование на следующем уровне гомогенизации может привести к необоснованным погреш-

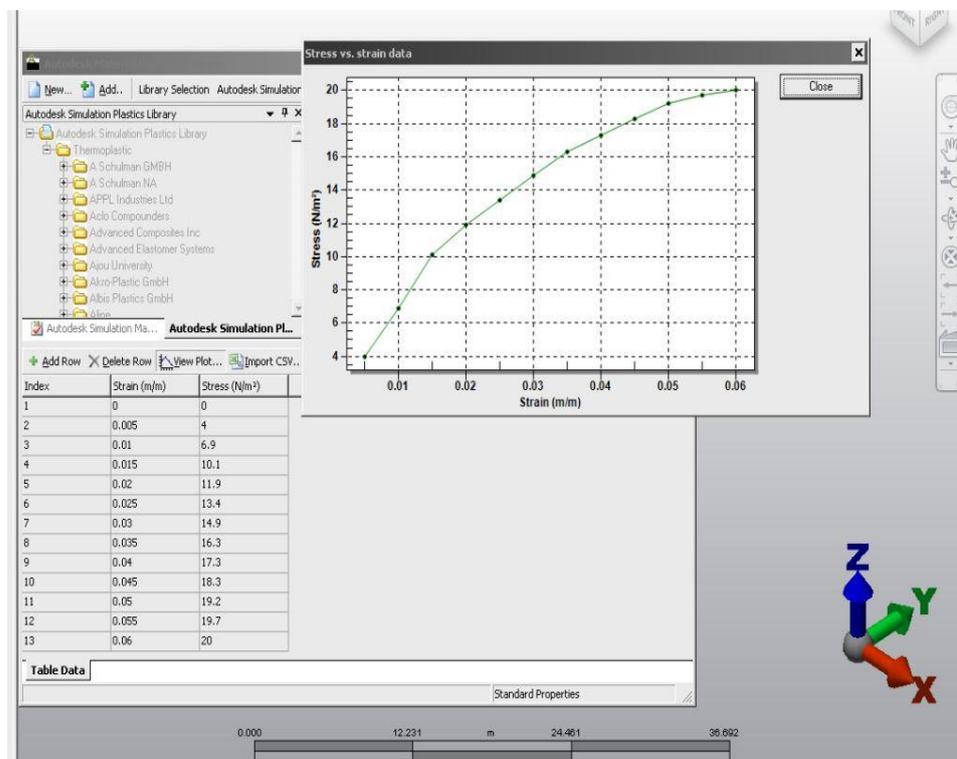


Рис.2. 7- Панель настройки свойств исследуемого текстильного материала

ностям. В программную среду ALGOR моделирования НДС различных по

свойствам материалов данные диаграммы могут быть перенесены параметрически или путем копирования табличных данных (см. рис. 2.7).

Настройка системы включает в себя моделирование свойств материала и построение расчетной схемы, отражающей реальную картину взаимодействия материала с внешними средами.

Согласно процедуре моделирования взаимодействий объектов в среде ALGOR после проверки степеней свободы и состояния равновесия по рассматриваемым нагрузкам запускается опция генерации сетки конечных элементов (рис.2.8) и расчета матрицы жесткости сгенерированной системы FEA [87,88].

Полученная расчётная трёхмерная диаграмма локальных деформаций волокнистой системы отражает характерные процессы, протекающие в ткани в результате действующего нагружения.

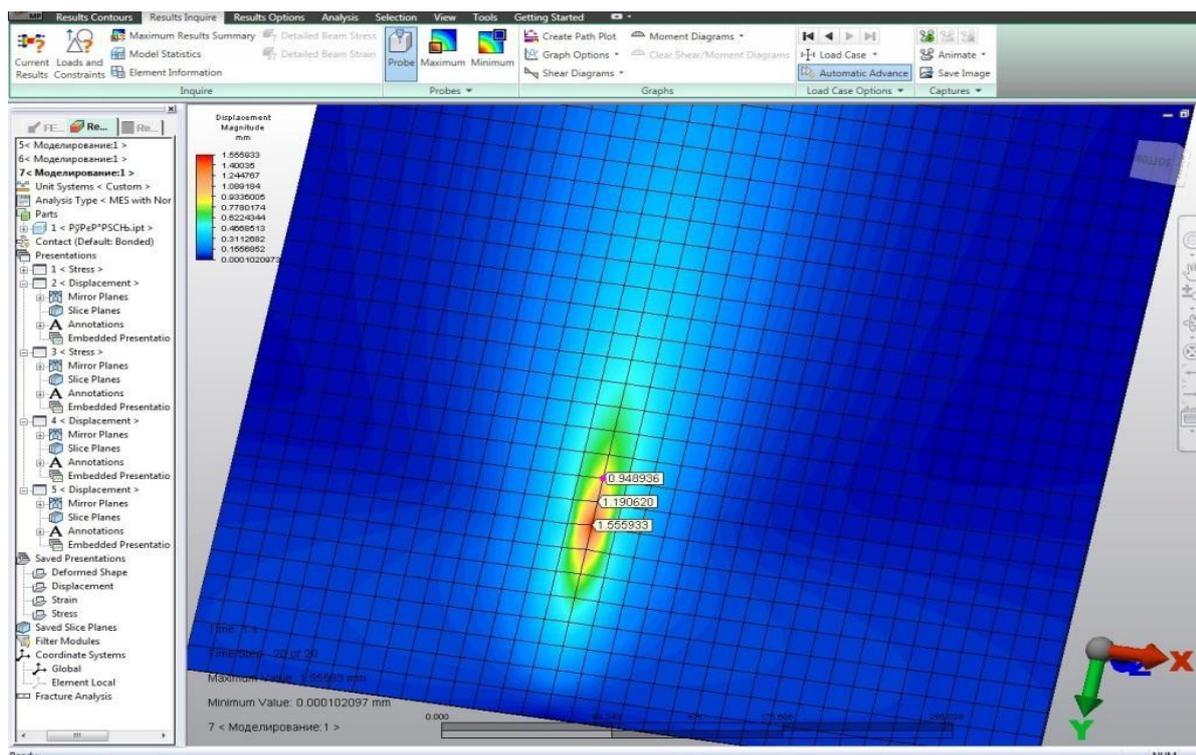


Рис.2.8. -Диаграмма перемещений локальных зон ткани в среде ALGOR

Информационные технологии прогнозирования деформационных параметров волокнистых систем позволяют оценить ожидаемые погрешности измерения количественных параметров и откорректировать полученные значения путем введения расчётных поправочных коэффициентов. Причем прогнози-

вание может осуществляться на стадии построения структуры текстильных материалов с известными свойствами нитей переплетения.

В настоящее время широко распространен и достаточно эффективно используется метод конечных элементов (МКЭ) при решении задач механики деформированного твёрдого тела, с помощью которого с высокой степенью достоверности можно вести исследования напряженно-деформированное состояние (НДС) материала при виртуальном нагружении (рис. 2.9). Точность расчёта определяется степенью разбиения объекта на конечные элементы. Результаты компьютерного моделирования НДС волокнистых систем приведены в работе [12].

Вследствие нелинейного поведения текстильных материалов при определённых значениях нагружения, что характерно при взаимодействии легкодеформируемых текстильных материалов с рабочими органами оборудования ПРК швейных предприятий, хотя бы на ограниченном уровне, представляется необходимым и возможным найти решение этой непростой для исследования технологической задачи, используя методы компьютерного моделирования.

В книге рассматривается методика использования современного программного компьютерного продукта, применяемого для решения задач исследования НДС материалов, по структуре, соответствующих волокнистым системам, представляющих собой трикотажные полотна.

В настоящее время широко распространён и используется при проектировании и анализе технических систем метод конечных элементов (МКЭ), позволяющий на программном уровне осуществлять имитационное моделирование рассматриваемых волокнистых систем на основании подробного описания их геометрии, физики процессов, свойств материалов, эксплуатационных характеристик и иных исходных и начальных данных, указываемых пользователем программного продукта.

Для исследования деформационных характеристик трикотажных полотен была принята постановка задачи в ограниченной области нагружения. В другом варианте рассмотрения программного пакета SolidWorks для исследования вяз-

ко-упругих деформаций практически не представлялось возможным из отсутствия и невозможности получения требуемых исходных данных (например, коэффициента теплопередачи и т.д.).

Расширение и развитие модельных вариантов исследования деформационных характеристик волокнистых материалов выходило за рамки программы исследований.

Однако в первоначальной постановке задачи принятый подход позволяет с достаточной степенью точности отразить интегральную деформационную характеристику при исследовании трикотажных полотен.

Рассмотрим результаты компьютерного моделирования согласно расчетной схеме (см. рис 2.4) и заданными параметрам образца: размер образца 50×100 мм, условный коэффициент Пуассона $\mu = 0,159$, объёмная плотность $\rho = 172 \text{ кг/м}^3$, толщина образца 0.2 мм и равнодействующая распределенной нагрузки $q = 3 \text{ Н}$. Расчёт проводился в среде САПР SolidWorks и прилагаемом к ней модуле CosmosWorks, имеющим возможность статического нелинейного анализа.

При использовании программного продукта SolidWorks и прилагаемого к нему модулю CosmosWorks, используя опцию настройки, можно получить значения относительной деформации по длине, ширине и толщине испытуемого образца.

Анализируя результаты компьютерного моделирования НДС легкодеформируемых материалов, и сопоставляя их с экспериментальными данными, следует заметить их определённое соответствие. Однако для некоторых видов материалов невысокой плотности имеет место быть значительные расхождения (см. п. 3.2). И этому имеется соответствующее объяснение, связанное с одним неформальным обстоятельством.

Реальные значения деформации, получаемые в результате физического эксперимента, могут не соответствовать расчётным значениям, и поэтому необходимо вносить в результаты моделирования коэффициент коррекции, т.е.

необходимо, своего рода, выполнять тарирование результатов компьютерного моделирования по данным, полученным экспериментальным путём.

Это условие является особенностью использования рассматриваемого программного продукта при исследовании НДС волокнистых систем, у которых в начальном этапе наблюдается деформация макроструктуры (макроуровень), зависящей от переплетения нитей, а далее деформация на микроуровне, т.е. происходит деформация непосредственно нитей структуры, что и соответствует результатам компьютерного моделирования.

На рисунке 2.9 приведено графическое отображение результатов экспериментальных исследований продольной деформации образца из трикотажного полотна волокнистого состава х.б.- 97%, эластан - 3% и нагружением в пределах 0.6Н/см.

Результаты получены в рамках выполнения программы исследований на базе принципиально нового технического решения [89,92..94], схема и принцип действия которого рассматривается в третьей главе настоящей книги.

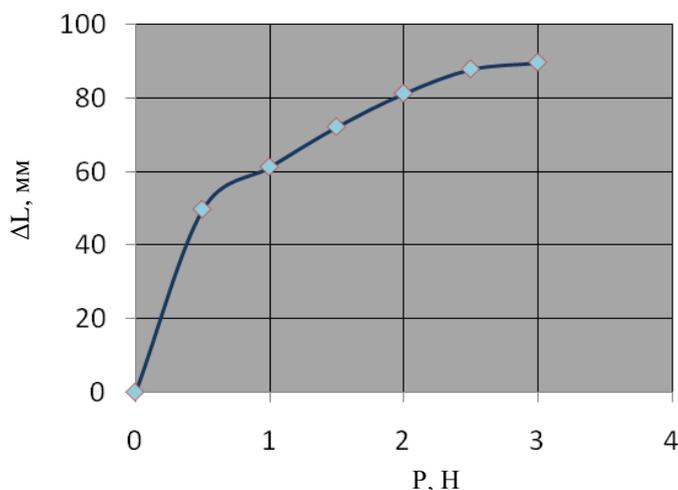


Рис. 2.9 График продольного перемещения

Для моделирования НДС объекта в программном пакете SolidWorks необходимо знать диаграмму «напряжение-деформация» (рис. 2.10), с помощью которых отражаются вязко-упругие свойства практически любого материала. Для компьютерного моделирования НДС необходимо также знать геомет-

рические размеры и объемную плотность ρ образца, величину нагружения и условный коэффициент Пуассона μ .

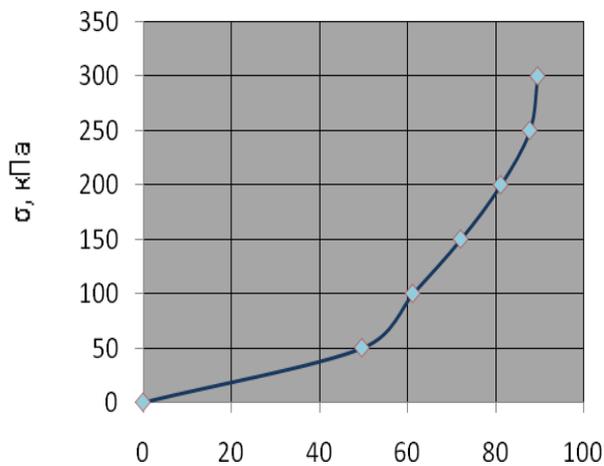


Рис 2.10 Расчетная зависимость диаграммы «напряжение-деформация» $\sigma = f(\varepsilon)$

В настоящее время при решении задач механики деформированного твёрдого тела широко распространён и используется метод конечных элементов (МКЭ), с помощью которого с высокой степенью достоверности можно вести исследования напряженно-деформированного состояния (НДС) материала. Этот метод использован для моделирования и исследования постановки вопроса. Точность расчёта определяется степенью разбиения объекта на конечные элементы (рис.2.11).

ε , %

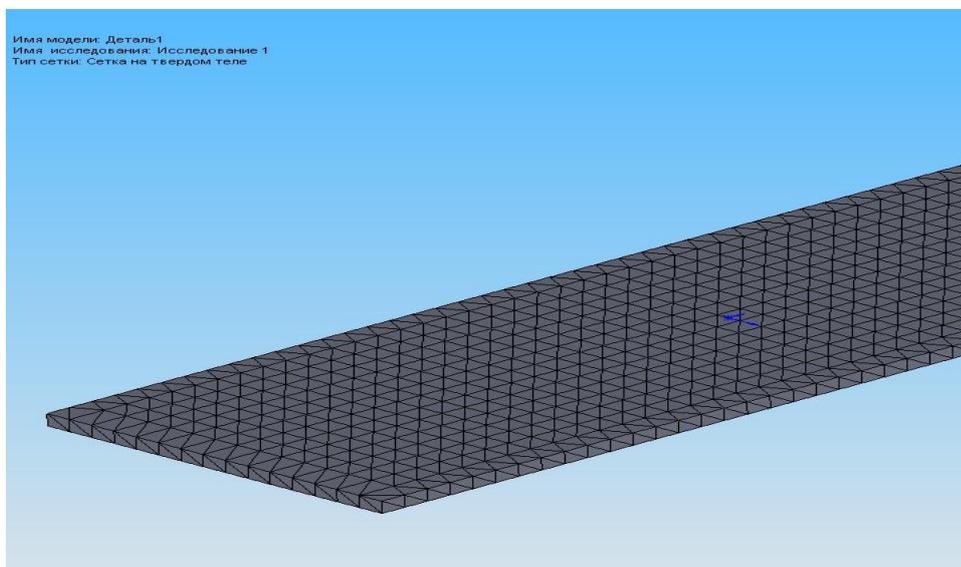


Рис. 2.11 – Схема разбиения объекта исследования на конечные элементы

Таким образом, при пользовании программным продуктом вводятся исходные данные, характерные тому или иному образцу и расчёт ведётся по программе, которая воспринимает исследуемый объект без учёта структурных характеристик материала, принимая объект изотропным и сплошным, как «отдельную нить». Коэффициент коррекции (K_d) определяется отношением экспериментальных значений (ΔL_ε) к расчётным параметрам перемещения и деформации (ΔL_p), т.е.

$$K_d = \frac{\Delta L_\varepsilon}{\Delta L_p}.$$

Значение этого коэффициента может быть не постоянным, а изменяться в зависимости от плотности и других свойств волокнистой системы.

Однако необходимо учитывать, что результаты моделирования и степень соответствия экспериментальным данным зависит от системы разбиения на конечные элементы, точности оценки условного модуля упругости и определения плотности материала, а также степенью владения программным продуктом.

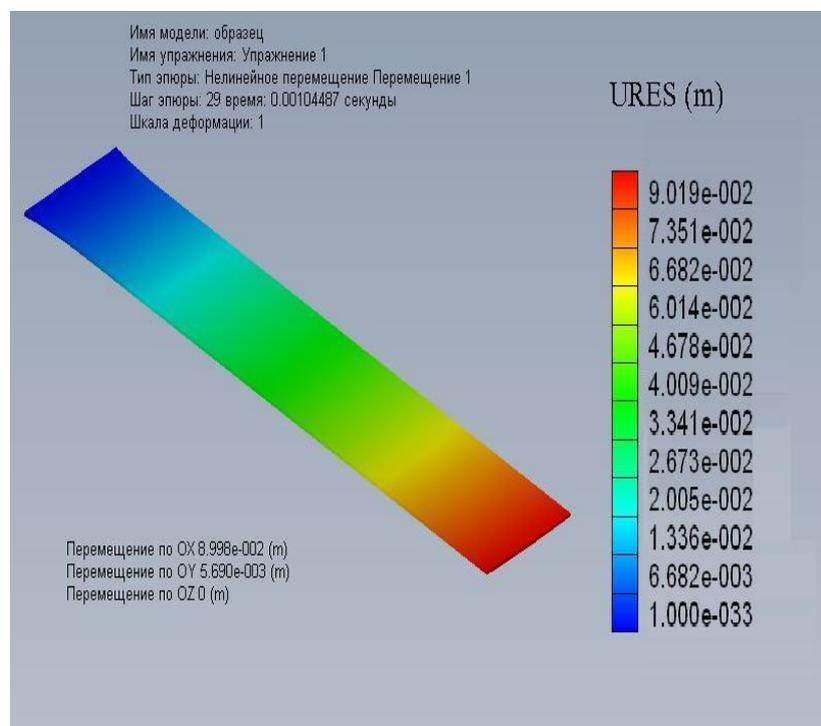


Рис 2.12– Индикатор перемещения среза образца по плотности в программном пакете SolidWorks

По результатам компьютерного моделирования (рис.2.12) можно утверждать о возможности и перспективности исследования НДС трикотажных полотен посредством использования программного продукта «SolidWorks, CosmosWorks».

Однако из результатов компьютерного моделирования НДС волокнистых систем следует, что такой метод изучения требует дальнейших углублённых исследований возможностей использования программного продукта и для других видов материалов с различными волокнистыми системами. Моделирование деформационных процессов посредством программного продукта CosmosWorks позволяет решать вопросы исследования НДС различных волокнистых материалов при определённых деформационных ограничениях.

Рассмотрение других вариантов исследования вязкоупругих деформаций волокнистых систем с использованием программного пакета SolidWorks для моделирования практически не представлялось возможным из-за отсутствия и невозможности получения требуемых исходных данных (например, коэффициента теплопередачи и т.д.).

Кроме того, для моделирования НДС объекта в программном пакете SolidWorks необходимо знать результаты экспериментальной диаграммы «напряжение-деформация» (рис. 2.10), с помощью которых можно в полной мере отразить деформационные свойства практически любого виртуального материала. Для компьютерного моделирования деформационных характеристик необходимо также знать геометрические размеры и объёмную плотность ρ образца, величину нагружения и условный коэффициент Пуассона μ .

Моделирование деформационных процессов посредством программного продукта Cosmos Works в программном пакете Solid Works позволяет решать вопросы исследования НДС различных волокнистых материалов. Однако при этом необходимо учитывать, что результаты моделирования и степень соответствия экспериментальным данным зависит от системы разбиения на конечные элементы, точности оценки условного модуля упругости, плотности материала и значения условного коэффициента Пуассона.

По результатам компьютерного моделирования НДС волокнистых систем определено, что принципиально можно утверждать о возможности, но ограниченной перспективности исследования НДС трикотажных полотен посредством использования программного пакета «CosmosWorks» в среде «SolidWorks».

В то же время можно констатировать, что такой метод исследований требует дальнейшего углублённого анализа возможностей использования пакета «CosmosWorks» в среде «SolidWorks» и для других видов материалов с различными волокнистыми системами, но с необходимостью корректировки программного продукта.

Проведенные модельные исследования деформационных параметров и полученные расчётные данные в рамках исследований в программном пакете Solid Works [12] дают ограниченную возможность прогнозирования деформационных характеристик и получить достаточно объективную картину напряжённо-деформированного состояния (НДС) волокнистых систем при нагружении и условном коэффициенте Пуассона в ограниченных пределах. Это объясняется тем, что программный пакет Solid Works, как это было установлено при моделировании, эффективно может быть использован при значениях $\mu = \frac{\varepsilon_n}{\varepsilon_l} \leq 0.5$ [95], где ε_n - деформация по ширине, ε_l - деформация по длине образца.

Трикотажные полотна с волокнистым составом, например, «шерсть 100%», «шерсть 85% - акрил 15%», «полиэстер 100%», «х/б 93%,- лайкра 7%» и др. при переработке в швейные изделия могут иметь при реально действующем нагружении значительно большие деформации, а коэффициент $\mu = \frac{\varepsilon_n}{\varepsilon_l} \geq 0.5$.

Таким образом, компьютерное моделирование НДС волокнистых материалов при действующем диапазоне нагружения волокнистых систем в программном пакете Solid Works не может быть рекомендовано и поэтому представляется ограниченным. В этом случае наиболее предпочтительным вариан-

том компьютерного моделирования деформационных процессов является программный продукт Ansys.

В рамках задачи моделирования НДС с целью определения возможностей использования того или иного программного продукта важно было установить соответствие результатов компьютерного моделирования и физического эксперимента. При наличии такого соответствия подтверждаются возможности решать исследовательские задачи деформационных характеристик волокнистых систем моделированием с использованием стандартного пакета программ, в частности Ansys [141].

Рассмотрим элементы теоретических предпосылок к использованию пакета стандартных программ Ansys для моделирования НДС волокнистых систем. При моделировании НДС волокнистых систем в пакете стандартных программ Ansys вопросы исследования могут рассматриваться в 2-х аспектах. В контексте использования программного продукта Ansys важно оценить предпочтительность того или другого варианта.

Если рассматривать моделирование в классических соотношениях НДС, то с учётом допущения однородности и изотропности тела 4-е постоянные параметра: модуль упругости (E), модуль сдвига (G), модуль объёмной деформации (K) и коэффициент Пуассона (μ) связаны между собой следующими соотношениями:

$$G = \frac{E}{2(1 + \mu)}; K = \frac{E}{3(1 - 2\mu)}. \quad (2.13)$$

Следовательно, только два параметра из них могут являться независимыми. В случае анизотропии постоянные E , G и μ принимают различные значения в разных направлениях и их величины могут изменяться в широких пределах.

Для исследования модельного варианта прогнозирования деформационных свойств материалов при нагружении образца шириной 5см от 0 до 2Н материалов, используемых для производства швейных изделий, рассмотрим вариант исходных данных, в частности, функции

$$\sigma = f_1(P), \varepsilon = f_2(P) \text{ и } \varepsilon = f_3(\sigma), \quad (2.14)$$

где σ -напряжение образца материала при нагружении P , ε_l -продольная де-

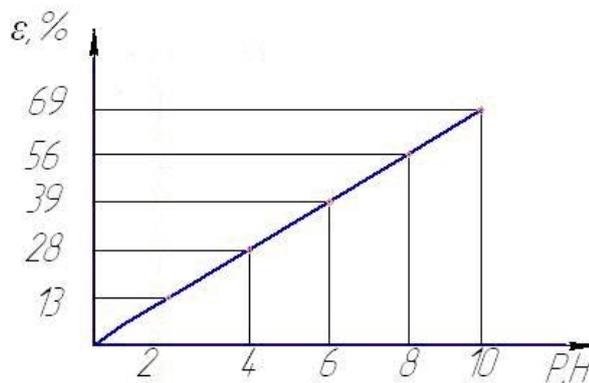


Рис. 2.12– Экспериментальная зависимость $\varepsilon=f(P)$, параметры: шерсть 100%, плотность 190г/м^2

формация.

На рисунках 2.12 и 2.13 представлены исходные экспериментальные данные обозначенных параметров, что является требуемой исходной информацией для компьютерного моделирования НДС и что, в свою очередь, открывает возможности расчёта параметра поперечной деформации, коэффициентов сужения, Пуассона (μ) и последующего исследования деформационных характеристик соответствующего материала при различных видах его нагружения.

Необходимое соответствие может быть установлено непосредственно сопоставлением результатов физического эксперимента и компьютерного моделирования, что является необходимым условием и доказательством правомочности модельных построений деформационных характеристик волокнистых систем при различной величине нагружения.

Примеры результатов компьютерного моделирования деформационных параметров волокнистых систем с использованием пакета прикладных программ Ansys отображены на рисунках 2.14 и 2.15.

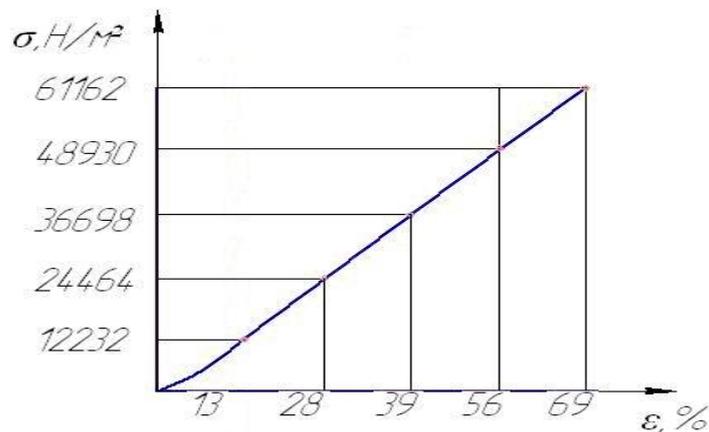


Рис. 2.13 - Экспериментальная зависимость $\sigma=f(\epsilon)$, параметры образца: шерсть 100%, плотность 190г/м^2 .

Фрагмент результатов физического и модельного эксперимента и их анализ показывают, что количественное расхождение характеристик полученных деформаций не превышает 1%.

Таким образом, на базе выполненных модельных исследований имеются достаточные основания утверждать, что использование программного пакета Ansys и метода конечных элементов может быть в полной мере обеспечить условия компьютерного моделирования деформационных характеристик трикотажных полотен и целого перечня других волокнистых систем со значением условного коэффициента Пуассона $\mu \geq 0.5$.

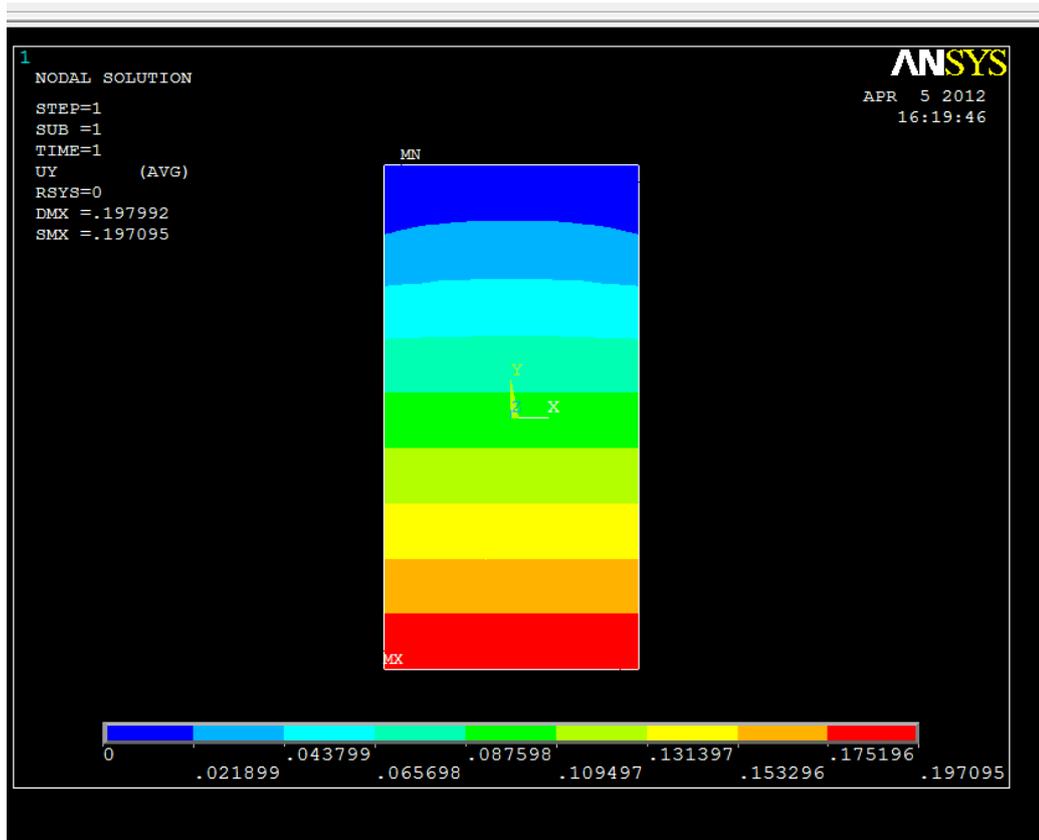


Рис.2.14– Индикаторы продольной деформации трикотажного образца при нагружении $P=0,2\text{Н/см}$, волокнистый состав: шерсть 100%, плотность 190г/м^2 .

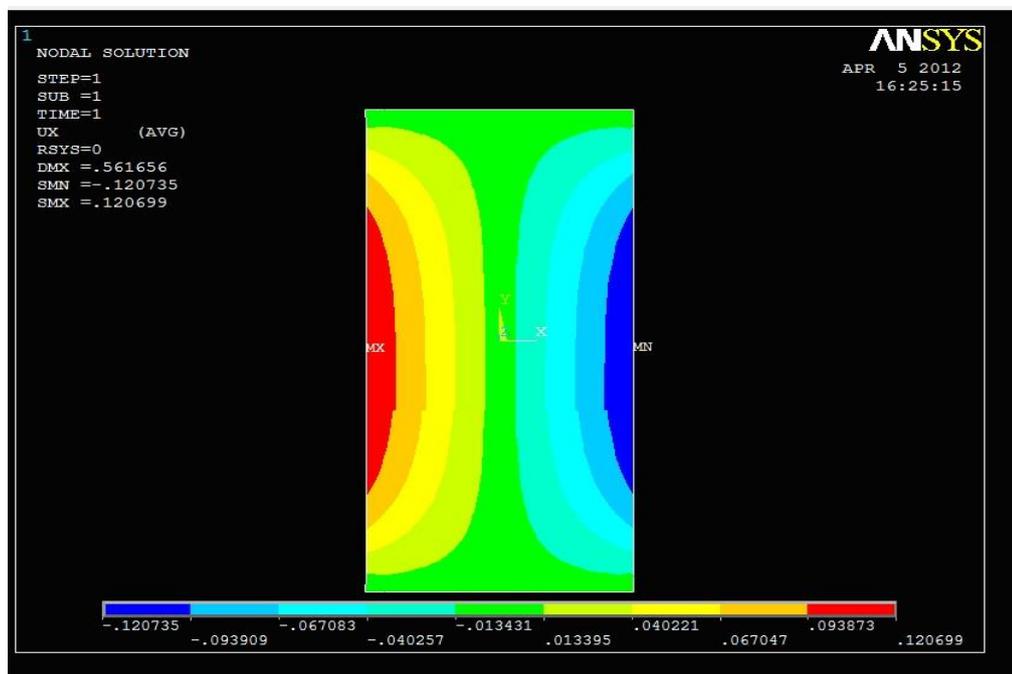


Рис.2.15– Индикаторы поперечной деформации трикотажного образца при нагружении $P=0,2\text{Н/см}$, волокнистый состав: шерсть 100%, плотность 190г/м^2 .

2.4 Моделирование релаксационных процессов трикотажных полотен при их тепловой и механической обработке

Для моделирования деформационных процессов, и особенно высокоэластической составляющей, что занимает преобладающее место при выполнении процессов переработки трикотажных полотен, сопровождаемых усадкой при тепловом воздействии на материал, представляется предпочтительно

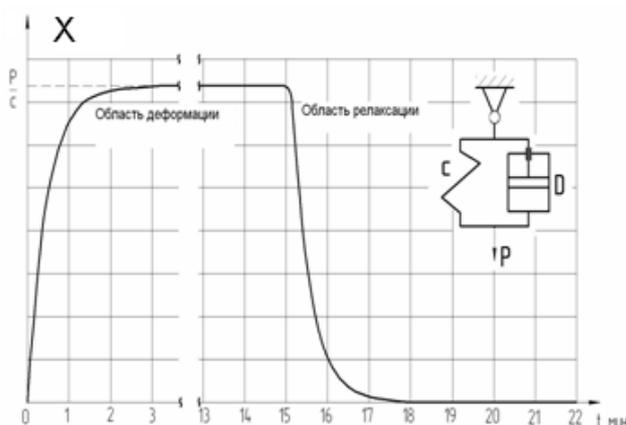


Рис.2.16

зо- ваться классической моделью Кельвина-Фойгта (см. рис.2.16) [59,76...79].

Согласно этой модели про- деформации и последующей её лаксации можно описать линей- дифференциальным уравнением первого порядка

$$P = cX + D \frac{dX}{dt}; \text{ или}$$

$$\frac{P}{c} = X + \frac{D}{c} \frac{dX}{dt}, \quad (2.15)$$

где P – приложенная нагрузка; x - абсолютная деформация; c - жёсткость пружины; $\frac{D}{c} = T_R$ - постоянная времени процесса высокоэластической деформации определяется реологическими характеристиками трикотажных полотен; D - жёсткость демпфера.

Решение этого уравнение при начальных и граничных условиях $t = 0$ и $x = 0$ имеет вид

$$X = \frac{P}{c} \left(1 - e^{-\frac{c}{D} \cdot t} \right). \quad (2.16)$$

То есть абсолютная деформация X при $t \rightarrow \infty$ асимптотически стремится к установившемуся значению $\frac{P}{c}$, которое достигается при

$$t > \left(\frac{D}{c} = T_R \right). \quad (2.17)$$

Для начальных условий, когда происходит снятие нагрузки ($P = 0, X = X_0$), получим

$$X = X_0 e^{-\frac{t}{T_R}}. \quad (2.18)$$

Иначе говоря, при $t = 3 \frac{D}{c}$ высокоэластическая составляющая деформации практически должна исчезнуть, что соответствует результатам моделирования (см. рис. 2.16).

Полученные результаты моделирования механической модели имеют качественный характер, но их характер и количественные значения подтверждены при постановке соответствующих экспериментальных исследований [28].

Исходя из общей задачи развития методологической базы оценки качества трикотажных полотен для швейных изделий, необходимо знать степень соответствия модельных построений экспериментальным данным, полученным при исследовании практикуемых технологических решений и технических средств в сопоставлении их с предлагаемыми поисковыми вариантами.

Судя по информационным источникам, особую сложность решения этих задач представляет собой возможность эффективно, надёжно и с требуемой точностью осуществлять измерение напряжённо-деформированного состояния (НДС) трикотажных полотен при их механической обработке, транспортировании по технологическому тракту и действию термомеханических факторов.

Особой сложностью отличается задача исследования НДС трикотажных полотен при их влажно-тепловой обработке. По сути, необходимо иметь эффективные методы измерения кинетики релаксации напряжения при их фиксированной деформации. Умение физическими методами оценивать параметры

НДС трикотажных полотен в процессе их обработки позволяет выйти на новый методологический уровень выбора и проектирования процессов производства кроеных швейных изделий.

С целью развития новых методов исследования и практического решения поставленных задач необходимо было рассмотреть вопросы математического и компьютерного моделирования процессов обработки волокнистых материалов в разных условиях и режимах, а также провести экспериментальные опыты на базе разработанных и апробированных принципиально новых физических методов оценки НДС при действии механических и термомеханических факторов.

Каждый раз при выборе режимов технологической обработки материалов на этапе подготовки производства швейных изделий того или иного ассортимента параметры подготовительно-раскройных операций, в том числе декатировочных процессов, и влажно-тепловой обработки (ВТО) определяются в основном опытным путём.

Такой традиционный подход имеет право «на жизнь», но нерационален по многим оценочным критериям, в частности, по критериям ресурсосбережения, производительности труда и обеспечению технологического качества. В процессе производства требуется постоянная коррекция режимов работы технологического оборудования и адаптация процессов к требуемым условиям. Например, в зависимости от вида обрабатываемых материалов и режимов процесса (температуры, давления, влаги и т.д.) для обеспечения формоустойчивости швейных изделий из трикотажных полотен при их эксплуатации на стадии ВТО определяют и корректируют опытным путём продолжительность действия рабочих органов технологического оборудования.

Как показали результаты научного поиска, решение задач по определению продолжительности релаксации возникающего напряжения при заданной величине фиксированной деформации материала инструментальными методами в настоящее время не представляется возможным из-за отсутствия эффективных методов и доступных технических средств.

Проведенный анализ специальной литературы и результаты патентных

исследований позволили выявить и проанализировать известные и потенциально возможные способы исследования напряженно-деформированного состояния (НДС) различных материалов.

Так, известен способ определения характеристик НДС движущегося материала [95...97], суть которого состоит в том, что обеспечивают синхронизацию частоты колебаний режимов работы импульсной лампы, задаваемой стробоскопом с линейной скоростью движения материала и по наблюдаемому эффекту. При этом по предварительно установленной зависимости частоты стробоскопического эффекта от натяжения материала рассчитывают значения натяжения для каждого его вида, а затем определяют деформацию. Недостаток известного способа заключается в том, что он практически не обеспечивает возможность исследования релаксации напряжения легкодеформируемых текстильных материалов при фиксированной деформации.

Известны также и другие методы [13,95...101, 143] и экспериментальные приборы для исследования НДС волокнистых материалов в условиях действия механических и термомеханических факторов.

В частности, для исследования релаксации напряжения трикотажных композитов в работе [13] предлагается использовать вынужденные колебания материалов при их фиксированной деформации путем воздействия на него колебаний частот звукового диапазона. Звуковой диапазон обеспечивается генератором механических колебаний. Измерение и запись информации о фазовой скорости передаваемых образцом композита колебаний как информативного параметра процесса релаксации напряжения и расчете на основании полученных данных кинетики этого процесса обеспечивается посредством записи данных в память процессора.

Недостатком этого способа является то, что генератор механических колебаний в ходе измерения фазовой скорости колебаний, передаваемых образцом, работает в режиме частоты, которая соответствует собственной частоте колебаний образца в исходной стадии. Однако в ходе процесса релаксации напряжения образца наблюдается смещение спектра частот его собственных колебаний,

что ведёт к значительному снижению чувствительности способа и уменьшению точности измерения фазовой скорости, являющейся информативным параметром процесса.

Авторами работы [100] экспериментально было установлено, что в процессе релаксации напряжения мягких композитов, к каковым могут быть отнесены трикотажные полотна, значимо изменяются их динамические характеристики, в частности, параметры собственных колебаний, текущие значения которых могут быть идентифицированы к показателям релаксационных процессов.

В рамках выполнения исследований свойств текстильных полотен для производства швейных изделий был выполнен научный поиск и разработан метод и принципиально новое устройство для измерения драпируемости, что можно отнести к классу экспресс-методов определения материаловедческих свойств швейных материалов .

Рассмотрим теоретические предпосылки инструментального экспресс-метода определения жёсткости и драпируемости текстильных полотен.

Допустим, что плоский однородный образец полотна находится под натяжением и закреплён на концевых срезах. Материал некоторым образом нагружен и сохраняет свое натяжение F_n . Когда на малом участке образца Δl создается поперечное смещение (ξ), изменяющееся со временем по закону синуса, то деформация передается от участка Δl 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 [102]. Наступает суперпозиция двух бегущих поперечных волн, в результате чего на образце устанавливается стоячая волна (рис 2.17).

Обратимся к математическому описанию рассматриваемого волнового процесса. Будем предполагать, что бегущие поперечные волны являются синусоидальными и описываются следующими уравнениями.

Прямая волна (распространяется в положительном направлении x)

$$\xi_1 = A \cos(\omega t - \frac{2\pi}{\lambda} x), \quad (2.19)$$

Обратная волна (распространяется в противоположном направлении оси x)

$$\xi_2 = A \cos(\omega t + \frac{2\pi}{\lambda} x + \varphi), \quad (2.20)$$

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

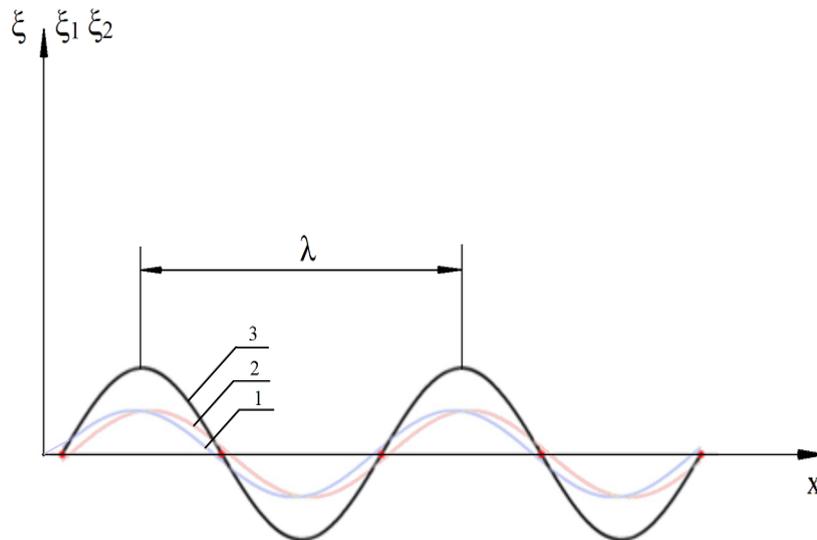


Рис.2.17 Суперпозиция двух бегущих поперечных волн и установившаяся стоячая поперечная волна: 1, 2 бегущие волны, 3-стоячая волна
Скорость распространения (V_0) синусоидальных волн связана с другими характеристиками такими соотношениями, как

$$V_0 = \frac{\omega}{K} = \frac{\lambda}{T} = \lambda \nu \quad (2.21)$$

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

$$V_0 = \sqrt{\frac{F_n}{\rho S}}, \quad (2.22)$$

где F_n -сила натяжения образца, ρ -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 ξ , равное нулю. А в точках, лежащих в интервале $0 < x < l$, смещение равно алгебраической сумме смещений, создаваемых прямой и обратной волной (см. рис. 2.17), то есть

$$\xi = \xi_1 + \xi_2 \quad (2.23)$$

Используя уравнения (2.20 и 2.21), после элементарных преобразований получим

$$\xi = 2A \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda}x + \frac{\varphi}{2}\right) \cdot \cos(\omega t + \frac{\varphi}{2}). \quad (2.24)$$

Уравнение (2.24) должно удовлетворять так называемым краевым условиям. Рассмотрим вначале условие, согласно которому смещение равно нулю при $x = 0$ для любого момента времени:

$$\xi(0, t) = 2A \cos \frac{\varphi}{2} \cdot \cos(\omega t + \frac{\varphi}{2}) = 0. \quad (2.25)$$

Из этого заключаем, что $\cos \frac{\varphi}{2} = 0$, следовательно, $\frac{\varphi}{2} = \frac{\pi}{2}$. Подставив значение $\frac{\varphi}{2}$ в уравнение (2.25) и заменив функцию косинуса на синус, получим уравнение стоячей волны в виде:

$$\xi(x, t) = 2A \sin \frac{2\pi}{\lambda}x \cdot \sin \omega t. \quad (2.26)$$

Из уравнения (2.26) 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

$$B = \left| 2A \sin \frac{2\pi}{\lambda}x \right| \quad (2.27)$$

Отличие поперечной бегущей волны и поперечной стоячей волны иллюстрируется на рисунке 2.17. Ближайшее расстояние между двумя точками среды обозначено λ представляет собой параметр, характеризующий длину стоячей волны.

В реальном технологическом процессе оценки драпируемости швейных текстильных материалов, в том числе и трикотажных полотен, заключается в определении коэффициента коррекции количества генерируемых волн квазистоячих колебаний на эталонном образце, как информативного параметра. Результаты экспериментального подтверждения элементов теории оценки драпируемости приведены в 3-й главе книги.