

УДК 620.1.08:620.22

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЕФОРМАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ЛЕГКОДЕФОРМИРУЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ

<sup>1</sup>Шеромова И.А., <sup>2</sup>Завзяты В.И., <sup>3</sup>Железняков А.С.

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Владивостокский государственный университет экономики и сервиса»  
Минобрнауки РФ, Владивосток, e-mail: Irina.Sheromova@mail.ru;

<sup>2</sup>ФГАУ ВО «Дальневосточный федеральный университет» Минобрнауки РФ, Владивосток,  
e-mail: zavzyaty@yandex.ru;

<sup>3</sup>Новосибирский технологический институт ФГБОУ ВО «Московский государственный  
университет дизайна и технологии» Минобрнауки РФ (филиал),  
Новосибирск, e-mail: gas@ntimgudt.ru

Предметом статьи является оценка возможностей применения стандартных программных пакетов для компьютерного моделирования деформационно-релаксационных состояний легкодеформируемых материалов. Цель исследований – системный анализ методов компьютерного моделирования деформационно-релаксационных процессов. В работе представлены результаты анализа научных исследований в области компьютерного моделирования напряженно-деформированного состояния легкодеформируемых материалов. Выполнена оценка возможности прогнозирования деформационно-релаксационного поведения материалов при контакте с рабочими органами технологического оборудования на основе компьютерного моделирования с использованием программной среды ALGOR, CAIP Solid Works и программного пакета ANSYS. При этом показано, что использование среды ANSYS и метода конечных элементов, в отличие от модуля Cosmos Works, прилагаемого к CAIP Solid Works, может в полной мере обеспечить условия компьютерного моделирования деформационных характеристик легкодеформируемых волокнистых систем, независимо от величины условного коэффициента Пуассона.

**Ключевые слова:** компьютерное моделирование, легкодеформируемые материалы, напряженно-деформированное состояние, метод конечных элементов

## USING OF COMPUTER TECHNOLOGY FOR MODELING OF THE EASILY DEFORMABLE MATERIALS DEFORMATION PROPERTIES

<sup>1</sup>Sheromova I.A., <sup>2</sup>Zavzyaty V.I., <sup>3</sup>Zheleznyakov A.S.

<sup>1</sup>Vladivostok State University of Economics and Service, Vladivostok, e-mail: Irina.Sheromova@mail.ru;

<sup>2</sup>Far East Federal University, Vladivostok, e-mail: zavzyaty@yandex.ru;

<sup>3</sup>Novosibirsk Technological Institute of Moscow State University of Design and Technology,  
Novosibirsk, e-mail: gas@ntimgudt.ru

The subject of the article is to evaluate the possibilities of the use of standard software packages for computer modeling of the easily deformable materials strain-relaxed state. The purpose of research – system analysis of computer simulation methods of strain-relaxation processes. In the work the results of the research analysis in the field of computer modeling of easily deformable materials stress-strain state are described. It is shown that to assess the possibility of predicting the strain-relaxation behavior of materials in contact with the process equipment working bodies can be used computer modeling techniques based on software packages ALGOR, Solid Works and ANSYS. In addition, it is shown that the use of ANSYS environment and the finite element method, in contrast to the module Cosmos Works, attached to the CAD Solid Works, can fully ensure the conditions of computer modeling of deformation characteristics of fibrous easily deformable systems, regardless of the value of the conditional Poisson's ratio.

**Keywords:** computer simulation, an easily deformable material, the stress-strain state, finite element method

Прогнозирование напряженно-деформированного состояния (НДС) легкодеформируемых материалов (ЛДМ), к которым могут быть отнесены большинство современных текстильных материалов, представляет собой достаточно сложную научную и практическую задачу, что, естественно, требует анализа существующих и поиска новых подходов, методик, применяемых при обработке материалов в рамках рассмотрения механики деформируемого твердого тела.

Одним из возможных путей решения данной проблемы является моделирование деформационно-релаксационных процессов, протекающих в материалах при различных видах нагружения. Особое место здесь занимают методы компьютерного моделирования НДС, в том числе и при взаимодействии материалов с рабочими органами технологического оборудования. Все это требует глубокого анализа предлагаемых различными авторами решений данной проблемы.

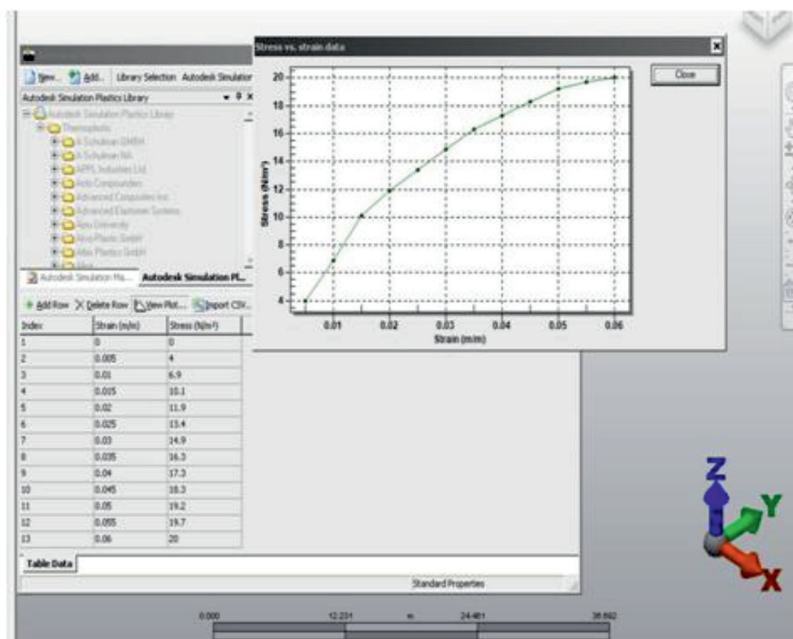


Рис. 1. Панель настройки свойств исследуемого текстильного материала

### Цель исследования

Целью выполненных исследований является системный анализ методов компьютерного моделирования деформационно-релаксационных процессов и установление возможности использования стандартных программных пакетов для решения данных задач.

### Материалы и методы исследования

Объектом проведенных исследований являются методы моделирования НДС материалов, а их предметом – оценка возможностей применения стандартных программных пакетов для компьютерного моделирования деформационно-релаксационных состояний ЛДМ.

При проведении исследований использовались общепринятые методы системного анализа научной информации.

### Результаты исследования и их обсуждение

Проведенный анализ различного рода информационных источников [1–16 и др.] позволил установить, что проблемами моделирования деформационных характеристик материалов разного волокнистого состава, плотности и при различных режимах нагружения, в том числе при взаимодействии материалов с рабочими органами технологического оборудования, занимались различные авторы, как у нас в стране, так и за рубежом.

Из работ зарубежных авторов по данному научному направлению наибольший интерес представляют исследования, про-

водимые группой ученых в Католическом университете г. Лёвена [15, 16]. Результатом их исследований явилось создание компьютерной среды моделирования WiseTex, которая включает модели внутреннего строения материала в свободном и деформированном состоянии, его сопротивления сжатию, растяжению и сдвигу. Аналогичный препроцессор DYNAFAB™ 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 и описание геометрии волокон внутри нити. Иерархия построения структуры открывает путь к обобщенному модульному подходу моделирования текстильных 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. 1). 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 носит условный характер и их использование на следующем уровне гомогенизации может привести к необоснованным погрешностям. В программную среду ALGOR моделирования НДС различных по свойствам материалов данные диаграммы могут быть перенесены параметрически или путем копирования табличных данных.

оценить ожидаемые погрешности измерения количественных параметров и откорректировать полученные значения путем введения расчётных поправочных коэффициентов. Причем прогнозирование может осуществляться на стадии построения структуры текстильных материалов с известными свойствами нитей переплетения.

Значительный интерес для практического использования имеют работы ряда российских авторов, в том числе и авторов данной статьи, посвященные разработке методики использования современных стандартных программных продуктов COSMOS/ M; ANSYS; ALGOR и др., применяемых для решения задач исследования

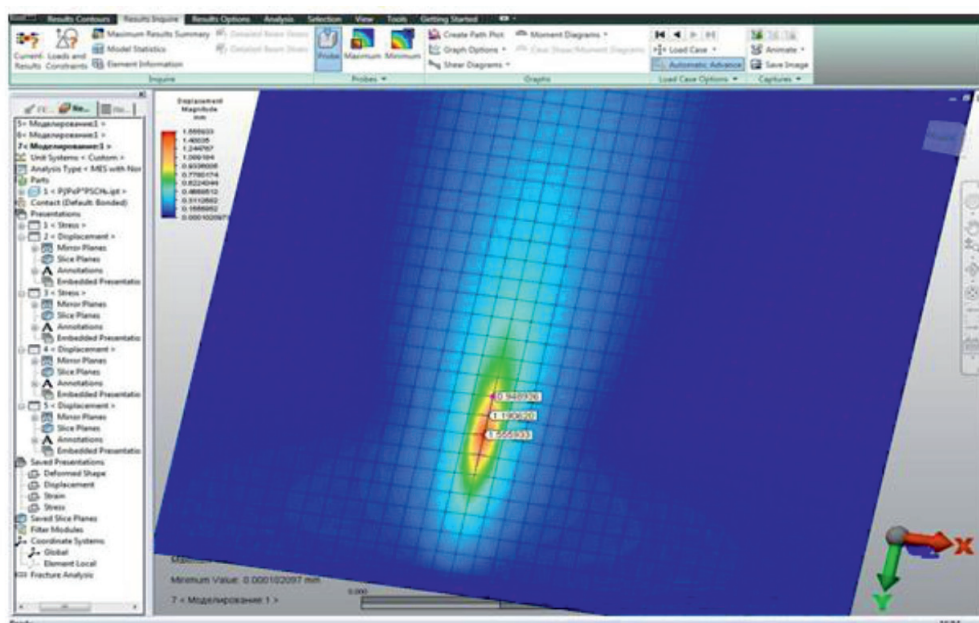


Рис. 2. Диаграмма перемещений локальных зон ткани в среде ALGOR

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) и расчета матрицы жесткости сгенерированной системы FEA [15, 16].

Полученная расчётная трёхмерная диаграмма локальных деформаций волокнистой системы отражает характерные процессы, протекающие в ткани в результате действующего нагружения. Информационные технологии прогнозирования деформационных параметров волокнистых систем позволяют

НДС ЛДМ на базе использования метода конечных элементов (МКЭ).

В настоящее время МКЭ широко используется при проектировании и анализе технических систем и 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 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 сложную технологическую задачу. Ограничением для исследований в этом направлении является сложность моделирования реального строения волокон и построения связей с вероятностными физико-механическими и геометрическими свойствами систем.

Необходимая для моделирования деформационных характеристик волокнистых материалов расчётная схема нагружения движущегося полотна по технологическому тракту и результаты требуемых аналитических исследований даны в работах [1, 2, 5 и 12].

В работе [14] расчёт НДС материала проводился по схеме трёхмерного твёрдотельного проектирования с использованием модуля FEA Calculation 3D. Результаты моделирования были представлены в виде диаграммы перемещений (деформаций) материала, которая отражает степень неравномерности их распределения. При этом результаты моделирования НДС материалов могут быть представлены как в виде минимаксных значений, так и в виде полного листинга значений напряжений и перемещений во всех узлах генерируемой сетки конечных элементов. Полученные расчётные перемещения (деформации), по мнению авторов, могут учитываться, например, при измерении длины как одна из составляющих частных погрешностей измерения, что может быть учтено на стадии проектирования измерительного оборудования и оценки точности воспроизведения заданных функций.

В работах [5, 12] представлены результаты выполненных исследований, связанных с компьютерным моделированием НДС волокнистых систем на основе метода конечных элементов (МКЭ) с использованием среды CAIP Solid Works и прилагаемом к ней модуле Cosmos Works. Сравнительный анализ результатов компьютерного моделирования НДС легкодеформируемых материалов, выполненного в работе [5], и экспериментальных данных показал их определённое соответствие. Однако для некоторых видов материалов невысокой плотности наблюдаются значительные расхождения. Реальные значения деформации, получаемые в результате физического эксперимента, могут не соответствовать расчётным значениям, в связи с чем необходимо вносить в результаты моделирования коэффициент коррекции, т.е. необходимо выполнять своего рода тарирование результатов компьютерного моделирования по данным, полученным экспериментальным путём.

Анализ показал, что проведенные модельные исследования деформационных параметров и полученные расчётные данные в программном пакете Solid Works [5, 12] дают возможность прогнозирования деформационных характеристик и получения достаточной объективной картины напряжённо-деформированного состояния (НДС) волокнистых систем при нагружении и условном коэффициенте Пуассона лишь в ограниченных пределах. Это объясняется тем, что программный пакет Solid Works, как это было установлено при моделировании, эффективно может быть использован при значениях [5]:

$$\mu = \frac{\varepsilon_{\text{н}}}{\varepsilon_{\text{л}}} \leq 0,5,$$

где  $\varepsilon_{\text{н}}$  – деформация по ширине,  $\varepsilon_{\text{л}}$  – деформация по длине образца. Легкодеформируемые полотна различной структуры и волоконнистого состава, особенно с воложением полиуретанового волокна при переработке в готовые изделия могут иметь при реально действующем нагружении значительно большие деформации, а коэффициент

$$\mu = \frac{\varepsilon_{\text{н}}}{\varepsilon_{\text{л}}} \geq 0,5.$$

Таким образом, компьютерное моделирование НДС ЛДМ при действующем диапазоне нагружений в программном пакете Solid Works представляется ограниченным. В этом случае наиболее предпочтительным вариантом компьютерного моделирования деформационных процессов является программный продукт ANSYS. Теоретические предпосылки и результаты использования данного пакета подробно освещены в работах [1, 3].

Примеры результатов компьютерного моделирования деформационных параметров волокнистых систем с использованием пакета прикладных программ ANSYS, выполненного для образца трикотажного полотна (волокнистый состав: шерсть 100%, поверхностная плотность 190 г/м<sup>2</sup>) при нагружении  $P = 0,2$  Н/см, отображены на рис. 3 и 4.

Сравнительный анализ результатов физического и модельного эксперимента, приведенных в работе [3], показал, 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 в полной мере обеспечить условия компьютерного моделирования деформационных характеристик ЛДМ, в том числе со значением условного коэффициента Пуассона  $\mu \geq 0,5$ .

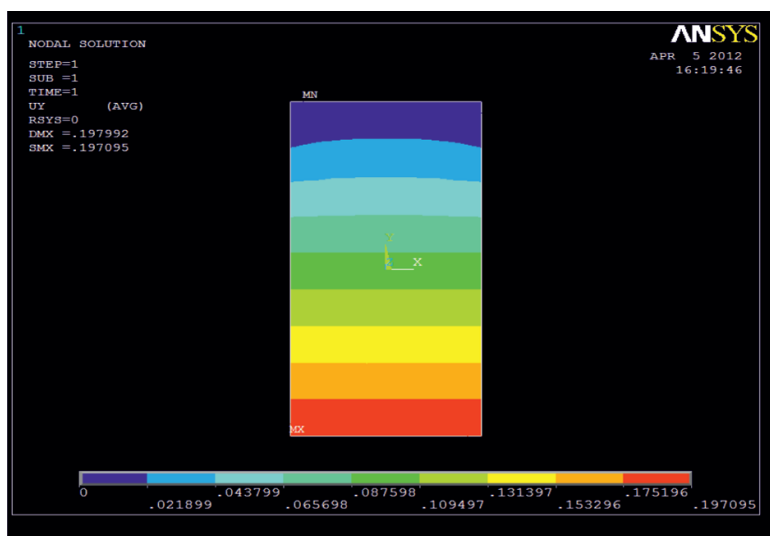


Рис. 3. Индикаторы продольной деформации

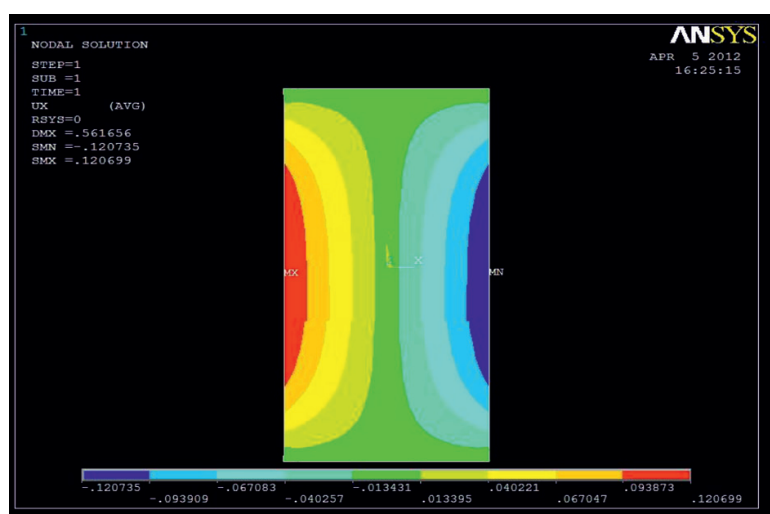


Рис. 4. Индикаторы поперечной деформации

### Заключение

В работе представлены результаты анализа научных исследований в области компьютерного моделирования НДС легкодеформируемых материалов. Выполнена оценка возможности прогнозирования деформационно-релаксационного поведения материалов при контакте с рабочими органами технологического оборудования на основе компьютерного моделирования в программной среде ALGOR, САПР Solid Works и прилагаемом к ней модуле Cosmos Works, а также с использованием программного пакета ANSYS. При этом по-

казано, что использование среды ANSYS и метода конечных элементов, в отличие от САПР Solid Works и модуля Cosmos Works, может в полной мере обеспечить условия компьютерного моделирования деформационных характеристик легкодеформируемых волокнистых систем, в том числе и со значением условного коэффициента Пуассона  $\mu \geq 0,5$ .

### Список литературы

1. Дремлюга О.А. Новые методы и технические средства для обеспечения качества швейно-трикотажных изделий: монография [Текст] / О.А. Дремлюга, И.А. Шеромова, А.С. Железняков. – Владивосток: ВГУЭС, 2012. – 154 с.

2. Железняков А.С. Моделирование и автоматизация подготовительных процессов швейного производства [Текст]: монография / А.С. Железняков, И.А. Шеромова, Г.П. Старкова. – Новосибирск: Сибвузиздат, 2007. – 204 с.
3. Железняков А.С. Экспериментальные исследования и компьютерное моделирование деформационных параметров волоконистых систем [Текст] / А.С. Железняков, И.А. Шеромова, Г.П. Старкова, О.А. Дремлюга // Швейная промышленность. – 2012. – № 4. – С. 30–31.
4. Жихарев А.П. Развитие научных основ и разработка методов оценки качества материалов для изделий легкой промышленности при силовых, температурных и влажностных воздействиях [Текст]: дис. ... д-ра техн. наук. – М., 2003. – 374 с.
5. Завятый В.И. Подготовка материалов к раскрою: актуальные вопросы и пути совершенствования [Текст]: монография / В.И. Завятый, И.А. Шеромова, Г.П. Старкова, А.С. Железняков. – Владивосток: Изд-во ВГУЭС, 2011. – 160 с.
6. Клименко А.Я. Исследование релаксационных свойств тканей некоторых структур [Текст] / А.Я. Клименко, А.Н. Герасимова, В.И. Павлов // Известия вузов. Технология легкой промышленности. – 1977. – № 6. – С. 34–40.
7. Милашюс В. Исследование текстильных материалов при постоянной деформации [Текст] / В. Милашюс // Известия вузов. Технология легкой промышленности. – 1974. – № 4. – С. 36–39.
8. Петропавловский Д.Г. Релаксация деформации растяжения тканей при изготовлении и эксплуатации швейных изделий [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – М., 1983. – 19 с.
9. Сталевич А.М. Исследование упруго-релаксационных свойств синтетических волокон технического назначения [Текст]: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. – Л., 1973. – 61 с.
10. Старкова Г.П. Исследование и учет деформационных свойств высокоэластичных материалов при проектировании одежды [Текст] / Г.П. Старкова, И.А. Шеромова и др. // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. – 2008. – № 2С(307). – С. 28–32.
11. Старкова Г.П. Моделирование напряженного состояния текстильных материалов при фиксированной деформации [Текст] / Г.П. Старкова, И.А. Шеромова, А.С. Железняков и др. // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. – 2007. – № 5. – С. 86–91.
12. Шеромова И.А. Компьютерное моделирование напряженно-деформированного состояния материалов при выполнении подготовительно-раскройных операций [Электронный ресурс] // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 2–1. – URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=20366>.
13. Шеромова И.А. Исследование влияния параметров паровоздушной среды на релаксацию напряжения волоконистых материалов / И.А. Шеромова, А.С. Железняков // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. – 2007. – № 3. – С. 139–142.
14. Шеромова И.А. О методе исследования НДС волоконистых материалов [Текст] / И.А. Шеромова, Г.П. Старкова, А.С. Железняков // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. – 2008. – № 3. – С. 21–23.
15. Lomov S.V., Gusakov A.V., Huysmans G., Prodromou A., Verpoest I. Textile geometry preprocessor for meso-mechanical models of woven composites [Текст] // Composites Science and Technology. – Vol. 60. – 2000. – P. 2083–2095.
16. Lomov S.V., Truong Chi T., Verpoest I., Peeters T., Roose D., Boisse Ph., Gasser A. Mathematical modelling of internal geometry and deformability of woven performs [Текст] // International Journal of Forming Processes. – 2003. – Vol. 6. – № 3–4. – P. 413–442.