**Голубков Дмитрий Вячеславович. Моделирование механических свойств нити и тканых материалов на основе методов численного анализа : диссертация ... кандидата технических наук : 05.19.01 / Голубков Дмитрий Вячеславович; [Место защиты: Костром. гос. технол. ун-т].- Кострома, 2009.- 249 с.: ил. РГБ ОД, 61 10-5/73**

Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования

Костромской государственный технологический университет

*Пи правах рукописи*



C:\Users\Pavel\AppData\Local\Temp\Rar$DIa0.634\media\image2.jpeg

**Г*олубков Дмитрий Вячеславович***

**Моделирование механических свойств нити и тканых материалов на основе методов численного анализа**

Специальность 05.19.01 Материаловедение производств текстильной и легкой промышленности

ДИССЕРТАЦИЯ на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научпый руководитель: *д.т.н., проф. Гусев В.А.*

Кострома 2009

ВВЕДЕНИЕ 4

Глава 1. Состояние научных изысканий и исследования в области механики текстильных материалов 11

[Глава 2. Методы и средства моделирования 18](#bookmark8)

1. [Методы моделирования 18](#bookmark9)
2. Обоснование выбора метода, моделирования 18
3. Метод конечных элементов. Предварительные сведения 18
4. Концепция метода конечных элементов 20
5. Теоретические основы конечно-элементного анализа 22
6. Исторические замечания 43
7. Средства моделирования 45
8. Выбор программного обеспечения 45
9. Описание программного комплекса. ANSYS 47
10. Анализ возможностей ШШ. ANSYS v 10.0 48
11. Интерактивный режим (Interactive) 52
12. Пакетный режим (BATCH) 58

Глава 3. Моделирование нити и ткани 63

1. Концепция моделирования нити и тканых материалов.

Этапы и допущения 63

1. Концепция моделирования, общие положения 63
2. Этапы создания модели тканого текстильного материала 64
3. Допущения, принятые при создании моделей нити и ткани 66
   1. [Моделирование нити 68](#bookmark43)
      1. Концепция моделирования нити 68
      2. Выбор и описание типов конечных элементов 78
      3. Разработка конечноэлементной модели нити 100
         1. Объемно-стержневая комбинированная КЭ модель нити 100

*и*

* + - 1. Балочно-стержневая комбинированная КЭ модель нити 114
    1. Моделирование неровноты 121
    2. Моделирование механических свойств нити 139
       1. Общие положения 139
       2. Нелинейные характеристики и основы решения нелинейных задач с использованием МКЭ 147
       3. Моделирование характеристик растяжения нити 161
       4. Моделирование характеристик изгиба 176
       5. Сочетание механических свойств растяжения и изгиба в комбинированной конечноэлементной модели нити 184
  1. [Моделирование ткани 190](#bookmark67)

1. Общие положения 190
2. Объемно-стержневая модель ткани 192
3. Балочно-стержневая модель ткани 221
4. Псевдоплоская модель ткани 225

**Глава 4. Разработка программного обеспечения и статистический анализ работы алгоритма генерации параметров неровноты ...................231**

* 1. [Разработка программного обеспечения 231](#bookmark84)
  2. [Статистический анализ работы алгоритма генерации параметров неровноты 237](#bookmark87)

**Глава 5. Апробация конечноэлементных моделей нити и ткани полотняного переплетения.................................................. ...................240**

[ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ 244](#bookmark90)

[СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ 246](#bookmark91)

ПРИЛОЖЕНИЕ

За последнее десятилетие широкое распространение в промышленности получили различные виды текстильных материалов, выполняющие функции конструкционных элементов и изделий; фильтры, тканые контактные устройства, материалы для нужд медицины и др. Они не только успешно конкурируют с традиционными материалами и изделиями, выполненными из металлов, пластмасс, керамики, но и способствуют разработке прогрессивных технико-экономических решений в различных сферах хозяйственной деятельности.

Разработка этих материалов и изделий вызвала необходимость проведения фундаментальных исследований свойств химических, синтетических и других волокон и нитей, а также тканей при различных активных внешних воздействиях. Сложности проектирования таких материалов дали основу для развития положений теории механического поведения текстильных структур и математических моделей, характеризующих взаимосвязь между структурой и свойствами материалов.

Актуальность темы

Интегрирование России в мировую экономику, являющееся

необходимым фактором успешного развития страны, происходит в условиях острой конкурентной борьбы. Стало очевидным, что отечественная промышленность сможет занять достойное место в мировом разделении труда, лишь предлагая опережающие технические решения и новые изделия, оптимальные как по экономическим, так и по качественным показателям. Высокие требования, предъявляемые к потребительским свойствам и качеству современных изделий текстильной и легкой промышленности, определяют её конкурентоспособность на внутреннем рынке и за рубежом.

Совершенно очевидно, что качество готового изделия из текстиля во многом зависит от качества и свойств исходных материалов, а также от технологии получения как исходных материалов, так и самого изделия. Управление качеством продукции требует знания свойств, умение правильно измерять и объективно оценивать важнейшие показатели качества, а также достоверно прогнозировать количественные характеристики свойств продукции. Несмотря на значительное количество стандартов и технических условий, регламентирующих методики проведения испытаний, существующие методы требуют значительных материальных и временных затрат и не по­зволяют осуществлять прогноз показателей качества текстильных материалов в условиях их дальнейшей переработки и эксплуатации в изделии. Поэтому, разработка новых методов оценки и прогнозирования механических свойств текстильных материалов, направленных на снижение временных и материальных затрат при проведении сертификационных испытаний с одновременным повышением их информативности является актуальной научной и практической задачей.

Многие исследователи, занимающиеся проблемами механики нитей и тканей, отмечают сложность моделирования реальных технологических процессов с учетом реального строения нити и вероятностными физико­механическими и геометрическими ее свойствами. Для исследования поведения таких сложных систем и процессов хорошие результаты дает применение математического анализа и компьютерного моделирования, которое позволяет исследовать влияние различных факторов как независимо друг от друга, так и в сложном их сочетании.

Все вышеизложенные предпосылки обуславливают актуальность данной работы.

Цели и задачи исследования

Целью диссертационной работы является разработка численных моделей нити и тканого материала, позволяющих осуществлять прогноз деформационных характеристик текстильных материалов в условиях их дальнейшей переработки и эксплуатации в изделии, а также снижать временные и материальные затраты при проведении сертификационных испытаний с одновременным повышением их информативности.

Для достижения указанных целей были поставлены и решены следующие задачи:

1. Разработана методика моделирования нити и тканого материала на основе численных методов механики деформируемого тела, позволяющая учитывать специфические механические свойства и геометрические характеристики, присущие текстильным материалам, а также вероятностную природу их распределения.
2. Построена параметрическая трехмерная конечноэлементная модель нити, позволяющая учитывать вероятностное распределение и гетерогенность физико-механических и геометрических свойств, присущих реальным нитям, и осуществлять численные эксперименты по определению деформационных характеристик при сложном сочетании внешних воздействий.
3. Разработана параметрическая конечноэлементная модель тканого материала полотняного переплетения в трехмерной постановке с учетом пространственных контактных взаимодействий нитей основы и утка, позволяющая прогнозировать деформационные характеристики на основе свойств входящих в состав нитей.
4. Получена более удобная для анализа и расчетов обобщенная гомогенизированная на мезо-уровне модель ткани с псевдогаюской геометрией и физико-механическими свойствами эквивалентными трехмерной постановке.
5. Разработана программная среда текстильного моделирования AnsTEX , позволяющая автоматизировать процесс создания компьютерных моделей нити и ткани с учетом требуемых свойств.

**Объектами исследования** являются нити и тканые материалы *(ткань*

*полотняного переплетения).*

Предметом исследования являются деформационные процессы в нитях

и тканях при различных активных внешних воздействиях.

Методология исследований, достоверность и обоснованность результатов.

В работе использованы теоретические и экспериментальные методы исследования. При разработке математических и компьютерных моделей использовались методы теоретической механики, сопротивления материалов, дифференциального и интегральных исчислений, линейной алгебры, векторного анализа, математической статистики. Для реализации математических моделей и процессов деформирования нити и ткани применялись численные методы решения уравнений математической физики. Программная реализация моделей, выполнена среде *Delphi* 7. Исследования и анализ полученных моделей выполнялись в САЕ среде конечноэлементного моделирования ANSYS.

Статистическая обработка результатов натурных испытаний и численных экспериментов производилась в среде NCSS*(Number Cruncher Statistical Systems).*

Достоверность полученных результатов обеспечивается обоснованным уровнем абстракции при переходе от реальных физических объектов(нг//иь, *ткань*) к их аппроксимированным конечноэлементным моделями, и подтверждается удовлетворительным соответствием результатов численных экспериментов реальным натурным испытаниям.

Научная новизна работы

В диссертационной работе впервые:

1. Сформулирована концепция моделирования нити и ткани на основе метода конечных элементов с использованием комбинированных конечноэлементных структур, позволяющих одновременно учитывать специфические с точки зрения механики текстильных материалов свойства - высокую прочность при растяжении и низкую изгибную жесткость, а также вероятностный характер распределения механических свойств и геометрических характеристик.
2. Разработана параметрическая трехмерная/пространственная

комбинированная конечноэлементная модель нити, позволяющая учитывать гетерогенность и вероятное распределение механіїческих и геометрических свойств.

1. Разработана параметрическая трехмерная/пространственная

конечноэлементная модель ткани полотняного переплетения с учетом объемного контактного взаимодействия нитей и сил трения, позволяющая также контролировать параметры конечноэлементной сетки, обеспечивая требуемое относительное расположение контактных поверхностей нитей в составе ткани при их конечноэлементной аппроксимации.

1. Предложена концепция фиктивного контактного взаимодействия нитей в составе модели ткани полотняного переплетения на основе нелинейных стержневых связей.
2. На основе принципа гомогенизации получена обобщенная псевдоплоская конечноэлементная модель ткани, позволяющая существенно упростить процесс моделирования, увеличить его масштабы и сократить вычислительные затраты.

Практическая значимость работы

1. Предложенная методология конечноэлементного моделирования нити и ткани полотняного переплетения способствует развитию новых методов оценки и прогнозирования механических свойств текстильных материалов, направленных на снижение временных и материальных затрат при проведении испытаний, а также проектированию новых материалов и изделий.
2. Полученная конечноэлементная модель нити позволяет производить численные эксперименты по определению деформационных характеристик при разнообразных внешних воздействиях и граничных условиях, что, в свою очередь, позволяет оценить степень их влияния на протекание различных технологических процессов.
3. Созданная на основе адекватной модели нити конечноэлементная модель ткани полотняного переплетения, позволяет на основе численных экспериментов прогнозировать деформационные характеристики последней.
4. Полученная на основе принципа гомогенизации псевдоплоская конечноэлементная модель ткани позволяет на основании натурных экспериментальных данных, а также численных экспериментов моделировать свойства практически любых текстильных полотен *(не только тканей полотняного переплетения).*
5. Составлены оригинальные алгоритмы реализации параметрических трехмерных/пространственных конечноэлементных моделей нити и ткани полотняного переплетения, а также псевдоплоской конечноэлементной модели ткани, позволяющие автоматизировать процесс моделирования.
6. Реализована программная автоматизация процесса моделирования, в виде среды текстильного моделирования AnsTEX, позволяющей быстро и гибко изменять исходные параметры моделей.
7. Разработанная концепция моделирования нити может применяться для численного моделирования различных объектов, обладающих сходными геометрическими *(малые поперечные размеры и значительная протяженность),* а также механическими свойствами — высокая прочность при растяжении и гибкость.
8. Направление и результаты работы могут быть использованы в области проектирования и расчета композиционных материалов на текстильной основе.

**Апробация работы.** Материалы диссертационной работы доложены и получили положительную оценку:

* на межвузовской научно-технической конференции «Поиск - 2006», Иваново, ИГТА, 2006 г.
* на научном семинаре кафедры «Технологии и материаловедения швейного производства», Кострома, КГТУ, 2008 г.
* на научно-методическом семинаре по материаловедению в области сервиса, текстильной и легкой промышленности «Совершенствование профессиональной подготовки специалистов в области материаловедения, экспертизы и управления качеством изделий, услуг и работ». - Черкизово, 2008 г.
* на научном семинаре по теории механизмов и машин. РАН (Костромской филиал), 2009 г.

**Публикации.** Основные результаты диссертационной работы отражены в 5 публикациях. Из них 2 статьи в изданиях рекомендованных ВАК, 2 статьи в научных сборниках, 1 - тезисы всероссийских научных конференций.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, 5 глав, выводов и рекомендаций, приложений, библиографического списка, включающего 70 наименований. Общий объем работы- 249 страниц, 115 рисунков, 15 таблиц.

**Основные выводы.**

1. Анализ работ по исследованию, а также разработке новых методов оценки, прогнозирования и моделирования механических свойств текстильных материалов позволил установить, что существенной проблемой при решении указанных задач является одновременный учет специфических механических свойств, присущих текстильным материалам, а также вероятностный характер распределения, как механических свойств, так и геометрических характеристик.
2. Сформулированная на основе метода конечных элементов концепция моделирования нити и ткани с использованием комбинированных конечноэлементных структур, позволяет одновременно учитывать присущее текстильным материалам сочетание механических свойств — высокой прочности при растяжении и низкой изгибной жесткости, а также вероятностный характер распределения, как механических свойств, так и геометрических характеристик.
3. Разработана комбинированная конечноэлементная модель нити, позволяющая путем проведения численных экспериментов определять ее деформационные характеристики при разнообразном и сложном сочетании внешних воздействиях и граничных условий, что, в свою очередь, позволяет оценить степень их влияния на протекание различных технологических процессов.
4. Созданная на основе конечноэлементной модели нити трехмерная/пространственная параметрическая модель ткани полотняного переплетения, позволяет путем проведения численных экспериментов прогнозировать деформационные характеристики последней *(диаграммы деформирования при одноосном, двухосном и многоосном растяжении; характеристики при чистом и сложном изгибе, а также при разнообразном и слоэ/сном сочетании внешних воздействий).*
5. Полученная на основе принципа гомогенизации псевдоплоская конечноэлементная модель ткани позволяет осуществить переход от сложной объемной геометрии к эквивалентной пространственной, но менее ресурсоемкой постановке.
6. Разработанные конечноэлементные модели нити и ткани позволяют снизить временные и материальные затраты, имеющие место при проведении испытаний, а также проектировании новых материалов и изделий, заменив натурные испытания численными экспериментами.
7. Псевдоплоская модель ткани на основании натурных экспериментальных данных, позволяет смоделировать свойства практически любых текстильных полотен. Это позволяет достаточно быстро осуществлять численные эксперименты по определению их деформационных характеристик при сложном сочетании различных внешних воздействий и граничных условий, что не всегда достижимо, а иногда и невозможно в лабораторных условиях.
8. Реализована программная автоматизация процесса моделирования, в виде среды текстильного моделирования AnsTEX, позволяющей создавать модели нити и ткани, а также быстро и гибко изменять исходные параметры моделей. Данное программное обеспечение может быть усовершенствованно с целью построения геометрически более сложных тканых текстильных структур.
9. Направление и результаты работы могут найти применение в области проектирования и расчета композиционных материалов на текстильной основе.

**Список использованных источников**

1. Кукин Г.Н., Соловьев А.Н., Кобляков А.И.

Текстильное материаловедение. - М.: Легпромбытиздат, 1989. — 352 с.

1. Кузнецов А.А., Ольшанский В.И. Оценка и прогнозирование механических свойств текстильных нитей. - Витебск: УО «ВГТУ», 2004. -226 с.
2. Могильный А.Н. Разработка технологии, методов проектирования и исследования структуры и свойств текстильных материалов технического назначения; диссертация на соискание ученой степени д.т.н. в форме научного доклада - Санкт-Петербург: типография СПГУТД, 2000. - 94 с.
3. Поздняков Б.П. Методы статистического контроля и исследования текстильных материалов. - М.: «Легкая индустрия», 1978. - 275 с.
4. Хирл Дж., Исикава Т., Скелтон Дж. Тканые конструкционные композиты: Пер. с англ./Под ред. Т.-В. Чу и Ф.Ко. — М.: Мир, 1991. - 432 с.
5. Биргер И.А., Мавльтов P.P., Сопротивление материалов:Учебное пособие.

* М.: Наука. Гл. ред. физ-мат. лит., 1986. — 560 с.

1. Оден Дж. Конечные элементы в нелинейной механике сплошных сред.: Пер. с англ./Под ред. Э.И. Григолюка - М.: Мир, 1976. — 465 с.
2. Кормен Т., Лейзерсон, Ривест Р. Алгоритмы. Построение и анализ. — М. :МЦНМО, 2000.
3. Седов Л. И. Механика сплошной среды. - М. :Наука, 1970.
4. Новацкий В. К. Теория упругости. - М. :Мир, 1975.
5. Федоренко Р. П. Введение в вычислительную физику. - М. :МФТИ,

1994.

1. Бабенко К. И., ред. Теоретические основы и конструирование числен­ных алгоритмов задач математической физики. - М. :Наука, 1979.
2. Бочаров П. П., Печинкин А. В. Теория вероятностей. Математическая статистика.-М. :Гардарика, 1998.
3. Белоцерковский О. М. Численное моделирование в механике сплошных сред. - М.: Физматлит, 1994.
4. Партон В. 3., Перлин П. И. Методы математической теории упруго­сти. -М. :Наука, 1981.
5. Лехницкий С.Г. Теория упругости анизотропного тела. - М.: Наука, 1977.

* 416 с.

1. Ленский B.C. Современные вопросы и задачи пластичности в теоретическом и прикладных аспектах // Упругость и неупругость / МГУ. -1978. - Вып. 5. - С. 65 - 96.
2. Писаренко Г.С., Лебедев А.А. Деформирование и прочность материалов при сложном напряженном состоянии. - Киев: Наукова думка, 1976. - 416 с.
3. Писаренко Г.С., Можаровский Н.С. Уравнения и краевые задачи теории пластичности и ползучести, справочное пособие. - Киев: Наукова думка, 1981.-496 с.
4. Рейсс Э. Учет упругой деформации в теории пластичности // Теория пластичности. — М.: Изд-во иностр. лит., 1948. — С. 206 — 222.
5. Филин А.П. Прикладная механика твердого деформируемого тела. - М.: Наука, 1975. - Т. I. - 832 с.
6. Zienkiewicz О.С., Villiappan S., King I. Elasto-Plastic Solution of Engineering Problems. Initial Stress, Finite Element Approach // Int. J. Num. Mech. Eng. - 1969.-№ 1. - P. 75 - 100.
7. Zienkiewicz O.C. The Finite Element Metod. Fifth edition, v.2. Solid Mechanics. — Butterworth-Heinmann, 2000. — 459 p.
8. Видный Г.Р., Колчин С.Ф., Клованич С.Ф. Матричный метод решения задач строительной механики. - Кишинев: Штиинца, 1980. -308 с.
9. Руководство ANSYS vl0.0//Help
10. Садыкова Ф. X. Текстильное материаловедение. - М., 1998
11. Ильюшин А.А. Механика сплошной среды. М.: Изд-во МГУ, 1990.
12. Жермен П. Курс механики сплошных сред. М.: Высшая школа, 1983.
13. Победря Б.Е. Лекции по тензорному анализу. М.: Изд-во МГУ, 1986.
14. Каплун, А. Б. ANSYS в руках инженера : практ. руководство / А. Б. Каплун, Е. М. Морозов, М. А. Олферьева. - М.: Едиториал УРСС, 2003. - 272 с.
15. Конюхов, А. В. Основы анализа конструкций в ANSYS / А. В. Конюхов. - Казань : ЬСГУ, 2001. - 102 с.
16. Наседкин, А.В. Конечноэлементное моделирование на основе ANSYS. Программы решения статических задач сопротивления материалов с вариантами индивидуальных заданий : учеб.-метод. пособие для вузов /

А. В. Наседкин. - Ростов н/Д : УПЛРГУ, 1998. - 44 с.

1. Чигарев, А. В. ANSYS для инженеров : справ, пособие / А. В. Чигарев,

А. С. Кравчук, А. Ф. Смалюк. — М.: Машиностроение-1,2004. — 512 с.

1. Moaveni, S. Finite element analysis. Theory and application with ANSYS /

S. Moaveni. - Upper Saddle River, New Jersey, 1999. - 527 p.

1. ANSYS Basic Analysis Procedures Guide, ANSYS Release 9.0. ANSYS Inc., 2004.