

**ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ
ДЕТАЛИ СПИНКИ ЖЕНСКОЙ БЛУЗЫ
ПРИ ЕЕ ДЕФОРМИРОВАНИИ**

NUMERICAL MODELING OF FEMALE BACK DETAIL DEFORMATION

Я.М. КЛЕБАНОВ, Е.Н. ЕРОХИНА
YA.M. KLEBANOV, E.N. EROHINA

(Самарский государственный технический университет)
(Samara State Technical University)

E-mail: jklebanov@mail.ru, helen.erohina@mail.ru

Рассмотрен подход к решению нелинейных задач механики деформируемого твердого тела для конструкций деталей одежды из тканых материалов. Подход основан на применении обобщенных моделей поведения и метода конечных элементов.

The approach to the decision of nonlinear problems of deformable solid mechanics for designs of the details of woven materials clothing is considered. The approach is based on application of the generalised behaviour models and a finite elements method.

Ключевые слова: деформирование, текстильные материалы, нелинейное поведение, метод конечных элементов.

Keywords: deformation, textile materials, nonlinear behaviour, a finite element method.

Проектирование и анализ конструкций из тканых материалов, в том числе и предметов одежды, существенным образом отличается от проектирования изделий, форма которых обычно известна заранее. Существующие в настоящее время системы трехмерного автоматизированного проектирования одежды используют преимущественно геометрические модели, отображающие только форму объекта проектирования [1], [2]. Однако моделирование поведения деталей одежды требует привлечения методов и технологий, основанных на исследовании моделей поведения тек-

стильных материалов, отражающих как их геометрические, так и физические свойства. В этой связи моделирование поведения тканых материалов с учетом их сложной микроструктуры и механических свойств исходных нитей является актуальной задачей. Исследование математических моделей поведения материалов и конструкций из них позволяет предсказать последствия принимаемых решений и предупредить рациональные параметры проектирования до изготовления первичного образца.

Цель данной статьи – развитие подхода к решению нелинейных задач механики деформируемого твердого тела для конструкций из тканых материалов, основанного на применении обобщенных моделей поведения.

Этот подход опирается на предложенные ранее методы создания иерархических обобщенных моделей [3], [4] и соответствующие эффективные численные методы анализа конструкций. Для тканых материалов применение обобщенных моделей позволяет получить эффективные механические характеристики структурных элементов ткани, описывающие поведение эквивалентного однородного материала, то есть выполнить гомогенизацию материала, имеющего сложную внутреннюю геометрию, что важно для эффективного решения краевых задач. Определение параметров обобщенных моделей выполняется путем

аппроксимации результатов прямого расчета методом конечных элементов (МКЭ).

Реализацию данного подхода рассмотрим на двух уровнях моделирования механического поведения на примере сорочечной ткани полотняного переплетения. На первом уровне моделируется поведение ячейки ткани как структурного элемента материала. По результатам моделирования первого уровня ткань заменяется однородным материалом с эквивалентными свойствами и исследуется при граничных условиях, имитирующих стандартные испытания на растяжение, и в процессе деформирования детали конструкции в условиях эксплуатации изделия (рис. 1 – схема иерархического моделирования поведения сорочечной ткани, арт. Т-130 (волокно хлопка 50% + полиэфирное волокно 50%) и детали конструкции спинки женской блузы из этого материала).

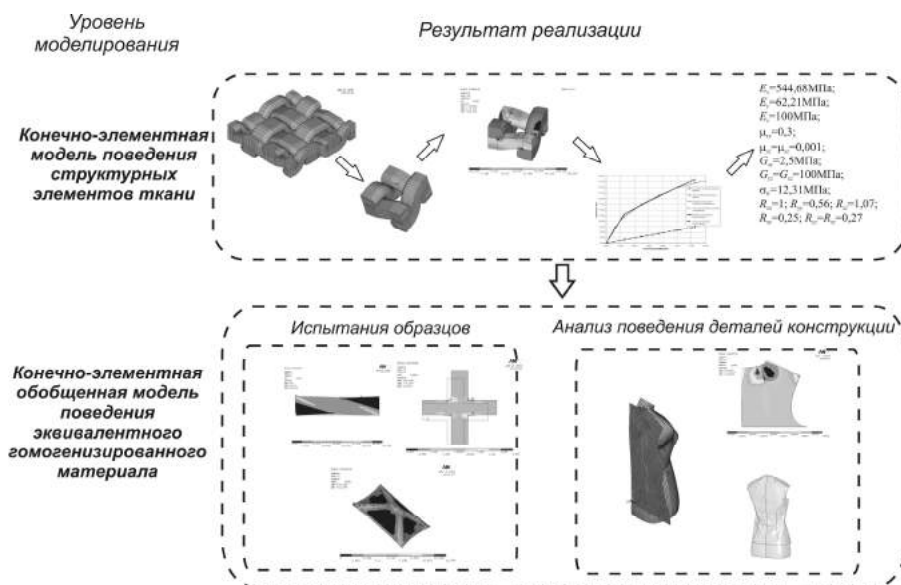


Рис. 1

Конечно-элементные модели ячеек периодичности тканого материала были созданы с учетом условий контактного взаимодействия их элементов, их геометрических и механических характеристик. Геометрические характеристики элементарной ячейки определялись на основе данных о плотности ткани по основе и утку, линейной плотности и объемной массы материала нитей. Упругопласти-

ческие свойства материала нитей принимались ортотропными. Полученные в ходе специально организованного эксперимента диаграммы деформирования нитей аппроксимировались билинейными зависимостями между напряжениями и деформациями.

При формировании моделей поведения ячеек периодичности в условиях комбинированных воздействий их

универсальность обеспечивается учетом существенных различий механических свойств нитей в продольном и в поперечном направлениях, геометрической нелинейности задачи в связи с изменением изгибов нитей в ткани, большими перемещениями и поворотами, контактным характером взаимодействия пересекающихся систем нитей [5].

В результате численного анализа поведения элементарной ячейки материала при одноосном и двухосном растяжении и сдвиге получены диаграммы деформирования, связывающие усилия, приходящиеся на одну нить в ячейке, и относительное удлинение ячейки. Каждая диаграмма является результатом решения задачи для ячейки при определенном сочетании граничных условий. Зависимости относительное удлинение–удельная нагрузка были преобразованы в зависимости деформация–напряжение для ткани в целом. Диаграммы деформирования ячеек в направ-

лениях основы и утка существенно различаются, так как ткани являются анизотропными материалами даже при одинаковых свойствах исходных нитей основы и утка в силу технологии их изготовления, определяющей порядок фазы строения. Кроме того, характер кривых деформирования в направлении нитей основы свидетельствует об упругопластическом поведении элементов структуры и ткани в целом.

При рассмотрении не одноосного деформирования ячеек устанавливается связь между эквивалентными деформациями и напряжениями. С учетом ортотропных свойств такая зависимость может быть получена с использованием закона текучести Хилла. В соответствии с ним эквивалентное напряжение σ_{eq} определяется квадратичной функцией компонент напряжений:

$$\sigma_{eq}^2 = (G + H)\sigma_{xx}^2 + (F + H)\sigma_{yy}^2 + (F + G)\sigma_{zz}^2 + 2N\tau_{xy}^2 + 2L\tau_{yz}^2 + 2M\tau_{zx}^2 - H\sigma_{xx}\sigma_{yy} - G\sigma_{xx}\sigma_{zz} - F\sigma_{yy}\sigma_{zz}, \quad (1)$$

где G, H, F, N, L, M – константы, характеризующие состояние анизотропии материала и определяемые из результатов численного эксперимента на ячейке периодичности, $\sigma_{xx}, \sigma_{yy}, \sigma_{zz}, \tau_{xy}, \tau_{yz}, \tau_{zx}$ – компоненты тензора напряжений.

Параметры анизотропии материала связаны с пределом текучести при одноосном напряженном состоянии σ_0 следующим образом:

$$F = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{R_{yy}^2} + \frac{1}{R_{zz}^2} - \frac{1}{R_{xx}^2} \right), \quad G = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{R_{zz}^2} + \frac{1}{R_{xx}^2} - \frac{1}{R_{yy}^2} \right), \quad H = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{R_{xx}^2} + \frac{1}{R_{yy}^2} - \frac{1}{R_{zz}^2} \right)$$

$$L = \frac{3}{2} \frac{1}{R_{yz}^2}, \quad M = \frac{3}{2} \frac{1}{R_{zx}^2}, \quad N = \frac{3}{2} \frac{1}{R_{xy}^2}, \quad (2)$$

где $R_{xx} = \frac{\sigma_{xx}^T}{\sigma_0}$; $R_{yy} = \frac{\sigma_{yy}^T}{\sigma_0}$; $R_{zz} = \frac{\sigma_{zz}^T}{\sigma_0}$;

$R_{xy} = \sqrt{3} \frac{\tau_{xy}^T}{\sigma_0}$; $R_{yz} = \sqrt{3} \frac{\tau_{yz}^T}{\sigma_0}$; $R_{xz} = \sqrt{3} \frac{\tau_{xz}^T}{\sigma_0}$;

при этом $\sigma_{xx}^T, \dots, \tau_{zx}^T$ – пределы текучести, получаемые при соответствующем одноосном нагружении. Принимаем $\sigma_0 = \sigma_{xx}^T$, и тогда $R_{xx} = 1$.

По совокупности результатов численных экспериментов были определены параметры упругих и упругопластических свойств ортотропного гомогенизированного материала, эквивалентного исследуемой ткани: $E_x = 544,68$ МПа; $E_y = 62,21$ МПа; $E_z = 100$ МПа; $\mu_{xy} = 0,3$; $\mu_{yz} = \mu_{xz} = 0,001$; $G_{xy} = 2,5$ МПа; $G_{yz} = G_{xz} = 100$ МПа; $\sigma_0 = 12,31$ МПа; $R_{xx} = 1$; $R_{yy} = 0,56$; $R_{zz} = 1,07$; $R_{xy} = 0,25$; $R_{yz} = R_{xz} = 0,27$.

С целью подтверждения точности и эффективности получаемых решений краевых задач было выполнено решение ряда тестовых задач, имитирующих одноосное растяжение образцов ткани стандартных размеров и двухосное растяжение крестообразных образцов. Сопоставление расчетных результатов показало хорошее совпадение как с результатами стандартных испытаний (рис. 2 – зависимость деформация – напряжение для сорочечной ткани, арт. Т-130 (хлопок 50% + поли-

эфирное волокно 50%) в направлениях нитей основы и утка), так и результатами эксперимента, проведенного на специально спроектированной и изготовленной установке для двухосного растяжения текстильных материалов [6,7], что подтверждает возможность использования конечно-элементных моделей поведения ячеек периодичности ткани для определения эффективных характеристик эквивалентного однородного материала.

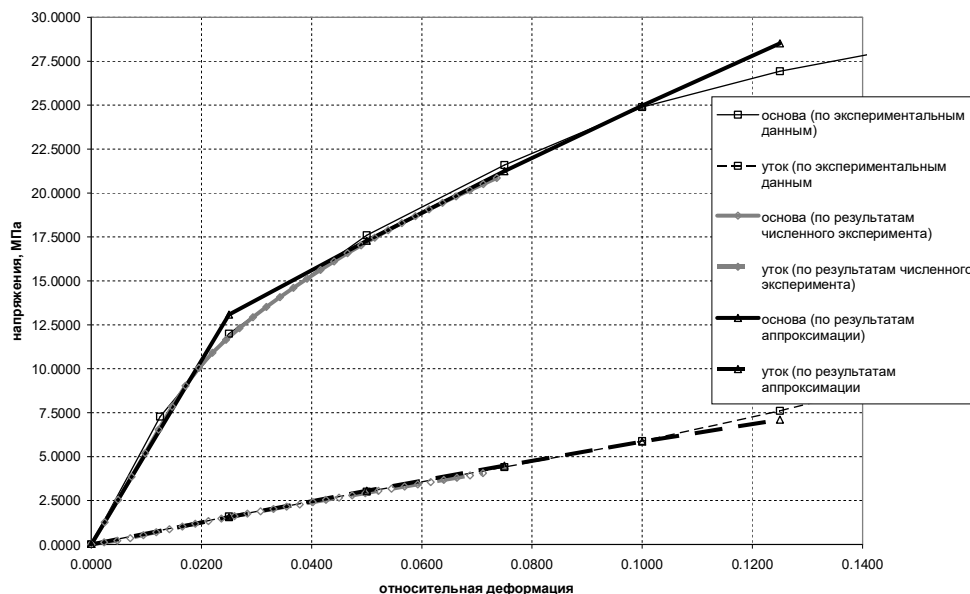


Рис. 2

Модель эквивалентного анизотропного пластичного материала была использована и на следующем этапе при разработке объемной конечно-элементной модели детали спинки женской блузы полуприлегающего силуэта и поверхности тела. Геометрическая модель поверхности тела была построена по измерениям типовой фигуры 164-92-100 в соответствии с [8] и по результатам из [9]. Данная модель была использована для изучения деформирования детали в условиях образования объемной формы изделия и растяжения детали спинки при эксплуатации. Задача решалась в статической постановке с использованием программных комплексов инженерного анализа ANSYS и LS-DYNA.

Для экспериментального определения полей деформаций детали спинки в про-

цессе реальной деятельности человека использовался метод "нитки" [10]. В качестве рабочего было выбрано движение "подъем рук вперед до горизонтального положения", как наиболее часто встречающееся в повседневной деятельности человека и вызывающее наибольшее напряжение детали на участке под проймой.

Поля деформаций растяжения в направлении нитей утка, определенные экспериментально и численно, показаны на рис. 3 (поля распределения деформаций растяжения в направлении нитей утка, определенные в результате: а) – эксперимента и б) – численного расчета) в виде распределения показателей относительного удлинения в различных точках детали. Зоны наибольших деформаций до 10% расположены в области нижних участков

проймы. Логично предположить, что форма и конфигурация данного участка детали во многом определяет напряженно-

деформированное состояние детали и степень эргономического соответствия всей конструкции в целом.

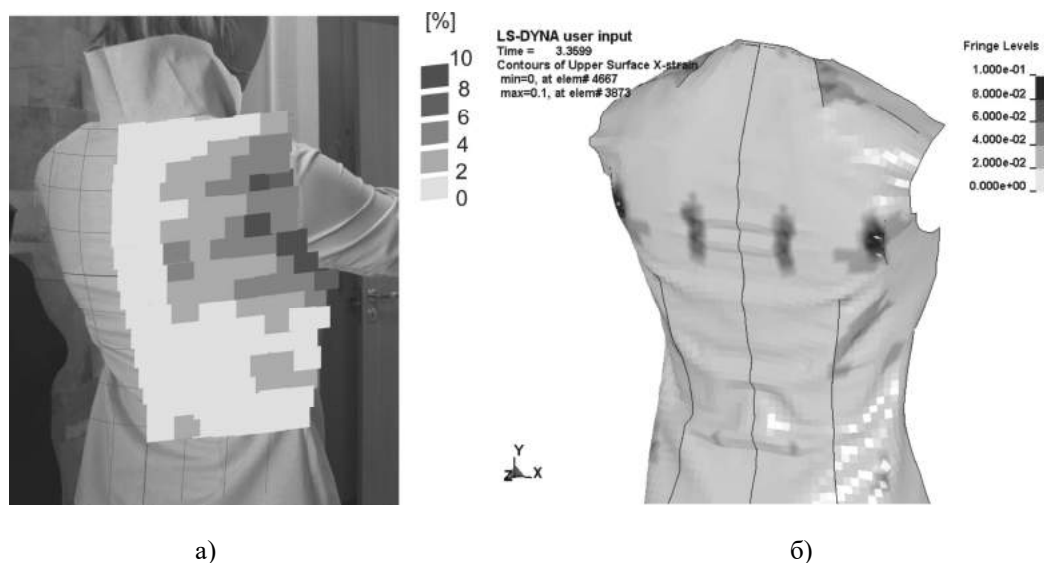


Рис. 3

Сравнительный анализ показывает удовлетворительное совпадение количественных значений деформаций, что свидетельствует о достоверности расчетов, выполненных методом конечных элементов, и об эффективности предложенного подхода. Некоторое различие по распределению деформаций вблизи проймы изделия вызвано незначительными отклонениями конкретных фигур, на которых проводились экспериментальные исследования, от типовой, размеры которой были использованы для построения модели тела.

Моделирование поведения детали конструкции спинки с использованием МКЭ позволяет проанализировать напряженно-деформированное состояние конкретного изделия в условиях пространственного растяжения и разработать в дальнейшем количественные рекомендации для проектирования рациональной конструкции изделия.

ВЫВОДЫ

1. Предложен численный подход к определению эффективных характеристик структурных элементов тканей, опирающийся на теорию нелинейных обобщен-

ных моделей механики деформированного твердого тела.

2. Разработан алгоритм решения задачи деформирования деталей конструкции из ткани полотняного переплетения, позволяющий изучить влияние формы и размеров участков конструкции на напряженно-деформированное состояние детали в целом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Fontana M., Rizzi C., Cugini U. 3D virtual apparel design for industrial applications // Computer-Aided Design. – Vol. 37, 2005. P. 609...622.
2. Au C.K., Ma Y.-S. Garment pattern definition, development and application with associative feature approach // Computers in Industry. – Vol. 61, 2010. P.524///531.
3. Работнов Ю.Н. Механика деформируемого твердого тела. – М.: Наука, 1979.
4. Клебанов Я.М., Самарин Ю.П. Обобщенные модели в теории ползучести конструкций. – Российская инженерная академия, 1994.
5. Клебанов Я.М. Ерохина Е.Н. Определение эффективных характеристик ткани на основе имитационного моделирования // Изв. вузов. Северо-Кавказский регион. Технические науки. – 2006. Приложение к №4. – С.155...161.
6. Клебанов Я.М., Бурмистров А.Г., Ерохина Е.Н. Экспериментальное исследование поведения крестообразных деталей из тканых текстильных материалов при двухосном растяжении // Швейная промышленность. – 2010, №6. С. 36...38.

7. Пат. на полезную модель № 102802 РФ, МПК G01N 3/08. Устройство для исследования деформационных свойств материалов / Бурмистров А.Г., Клебанов Я.М., Ерохина Е.Н. ГОУВПО Самарский государственный технический университет – № 2010137918, заявл. 13.09.2010; опубл. 10.03.2011 Бюл. №7 – 3 с., ил.

8. ГОСТ 17522–72. Типовые фигуры женщин. Размерные признаки для проектирования одежды.

9. Курбатов Е.В. Разработка информационного обеспечения интегрированной системы трехмерно-

го и двухмерного проектирования одежды: Дис....канд. техн. наук. – М.: МГУДТ, 2004.

10. Бузов Б.А., Алыменкова Н.Д., Петропавловский Д.Г Практикум по материаловедению швейного производства: Учебное пособие для студ. высш. учеб. заведений. – М.: Издательский центр "Академия", 2003.

Рекомендована кафедрой механики. Поступила 03.06.11.
