

# Суперкомпьютерное моделирование деформационных изменений трикотажных полотен на фигуре человека\*

И.Н. Усенко, Н.Ю. Долганина, А.Ю. Персидская

Работа посвящена изучению деформационных изменений трикотажных изделий на фигуре человека с учетом механических свойств трикотажных тканей. Построена модель торса женской фигуры, трикотажного платья. Исследованы механические свойства трикотажных полотен. Проведено исследование масштабируемости данной задачи.

## 1. Введение

Множество подходов к моделированию изделий из ткани можно разделить на две категории: геометрические и физические методы. В геометрических методах основной упор сделан на такие моменты, как складки, сгибы, которые можно описать геометрическими уравнениями [1, 2]. Этот метод получил широкое распространение, однако остаются нерешенными задачи, учитывающие механические свойства текстильных материалов, а также трение между изделием и телом человека (физический метод).

Сегодня изделия из трикотажного полотна имеют широкое распространение, поэтому актуальным является вопрос быстрого и качественного проектирования новых моделей. Трикотажные изделия значительно растягиваются при эксплуатации, причем не одинаково на разных участках тела человека, к тому же в изделии присутствуют различные виды швов (стачные, окантовочные, в подгибку с открытым срезом), которые имеют другие механические свойства. Поэтому при разработке трикотажных изделий использование геометрического метода является некорректным.

В настоящее время используют параллельные алгоритмы для изучения поведения тканей [3]. Проектирование с использованием суперкомпьютеров позволяет значительно сократить материальные затраты и время на разработку нового изделия. В виртуальной модели можно легко менять различные параметры: механические свойства ткани и швов, геометрию тела человека и изделия.

Произвести расчеты степени деформирования трикотажного полотна общеизвестные САПР одежды и стандартные графические пакеты с трехмерной графикой не позволяют. Именно поэтому были выбраны пакеты программ SolidWorks, ANSYS, LS-DYNA, а также возможности суперкомпьютерного центра ЮУрГУ для исследования деформационных изменений трикотажных полотен на фигуре человека. Статья организована следующим образом. В разделе 2 описываются методы исследования, и приводится описание задачи. В разделе 3 обсуждаются результаты проведенных экспериментов на вычислительном кластере. В разделе 4 показан метод получения точных моделей тела человека. В заключении суммируются основные результаты, полученные в данной работе, и приводятся направления дальнейших исследований.

## 2. Методы исследования

При расчетном исследовании поведения трикотажных изделий на человеке возникает вопрос о том, как надеть виртуальное изделие на манекен, т.к. реально трикотажные изделия значительно растягиваются при одевании. Эта задача была решена следующим образом: манекен моделировался размером меньше реального, чтобы при совмещении с изделием не было контакта между ними и в дальнейшем производилось пропорциональное увеличение манекена до реальных размеров, при этом ткань растягивалась, облекая все участки манекена.

---

\* Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 10-07-96007-р\_урал\_a).

Для отработки механизма «одевания» манекена в пакете программ SolidWorks были созданы упрощенная модель платья реальных размеров и упрощенная модель тела женщины без рук и головы размером меньше реального (рис. 1). Затем эти модели были экспортированы в пакет программ ANSYS, где была построена сетка конечных элементов (рис. 1). Количество элементов, получившееся при создании сетки равно 495 694.

Решение проводилось в пакете программ LS-DYNA. Из списка материалов, предложенных пакетом программ LS-DYNA [4], для платья был выбран \*MAT\_ELASTIC, необходимые параметры плотность, модуль упругости и коэффициент Пуассона были получены экспериментально и заложены в программу. В модели платья оболочечные элементы имеют одну точку интегрирования по толщине. Пропорциональное увеличение манекена можно реализовать, приложив температурные нагрузки к нему, но при этом необходимо, чтобы они не влияли на модель платья, поэтому для задания температурных нагрузок была выбрана команда \*LOAD\_THERMAL\_VARIABLE, позволяющая удовлетворить эти требования. Для манекена был выбран материал \*MAT\_ELASTIC\_PLASTIC\_THERMAL. Так как при эксплуатации трикотажных изделий тело человека не деформируется, то его моделировали как жесткое тело, которое под действием температурных нагрузок пропорционально увеличивалось до реальных размеров. Командой \*LOAD\_BODY\_Y было задано ускорение свободного падения  $g=9,8 \text{ м/с}^2$ .

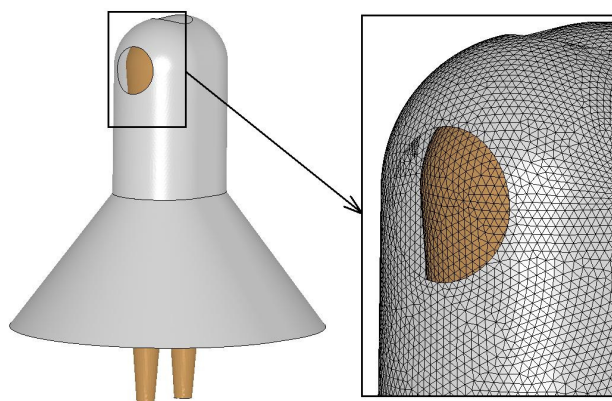
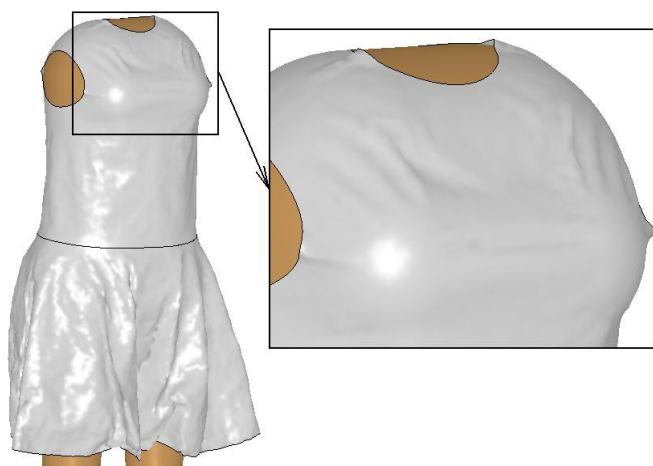


Рис. 1. Модели платья и тела женщины. Сетка конечных элементов

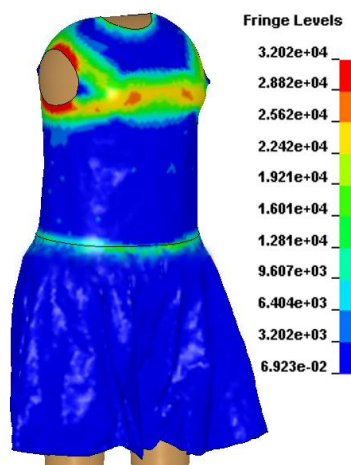
### 3. Результаты исследований и их анализ

Расчеты были проведены на высокопроизводительном вычислительном кластере СКИФ Урал [5], оснащенный 166 вычислительными узлами с 2 процессорами Intel Xeon E5472 (4 ядра по 3.0 ГГц) и 8 ГБ оперативной памяти на каждом узле.

На рисунке 2 показаны манекен и модель платья после действия приложенных нагрузок. На рисунке хорошо видно как материал ведет себя на различных участках тела, где возникают складки, а где материал сильно растянут. На рисунке 3 показаны эквивалентные напряжения по Мизесу. Красным цветом отмечены участки с максимальными напряжениями – это область проймы и груди.



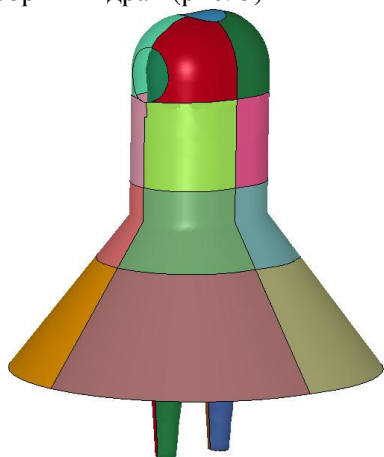
**Рис. 2.** Модель платья и манекен после действия приложенных нагрузок



**Рис. 3.** Эквивалентные напряжения по Мизесу (значения на шкале указаны в Па)

Декомпозиция модели на примере 16 ядер показана на рис. 4.

Ускорение вычислялось по формуле  $T1/Tn$ , где  $T1$  – время, затраченное на решение теста на одном процессорном ядре,  $Tn$  – время, затраченное на решение этой же задачи на  $n$  процессорных ядрах (рис. 5)



**Рис. 4.** Декомпозиция модели (16 ядер)



**Рис. 5.** Ускорение

Время, за которое были произведены расчеты, приведено в таблице 1.

**Таблица 1.** Время выполнения расчетов на вычислительном кластере СКИФ Урал.

№ п.п.	Вычислительных ядер	Время решения, сек.
1	1	44 486
2	2	22 881
3	4	11 873
4	8	6 136
5	16	3 107
6	24	2 131
7	32	1 600
8	40	1 315
9	48	1 050
10	64	800
11	92	654
12	114	543
13	192	470
14	224	452

15	240	451
16	256	450

В данной задаче наблюдается хорошая масштабируемость вплоть до 192 ядер. Далее эффективность распараллеливания снижается из-за декомпозиции модели на мелкие области, что приводит к увеличению межпроцессорных обменов и времени расчета.

#### 4. Построение 3D-модели, приближенной к оригиналу

Для проектирования трикотажных изделий необходимо построить точную модель тела человека. На рис. 6 изображена схема снятия размерных признаков. Тело человека освещали вдоль оси Y, по оси симметрии проходила вертикальная тень в виде полосы. Под углом  $45^\circ$  к оси Y был расположен фотоаппарат. Человека поворачивали вокруг своей оси с шагом в  $5^\circ$  и на каждом шаге фотографировали, на полученных изображениях человека видна тень полосы, и можно было измерить расстояние  $x(\varphi, z_i)$ . По данному способу зная расстояние  $x(\varphi, z_i)$  и угол поворота легко можно вычислить глубину манекена  $y(\varphi, z_i)$  и построить 3D-модель.

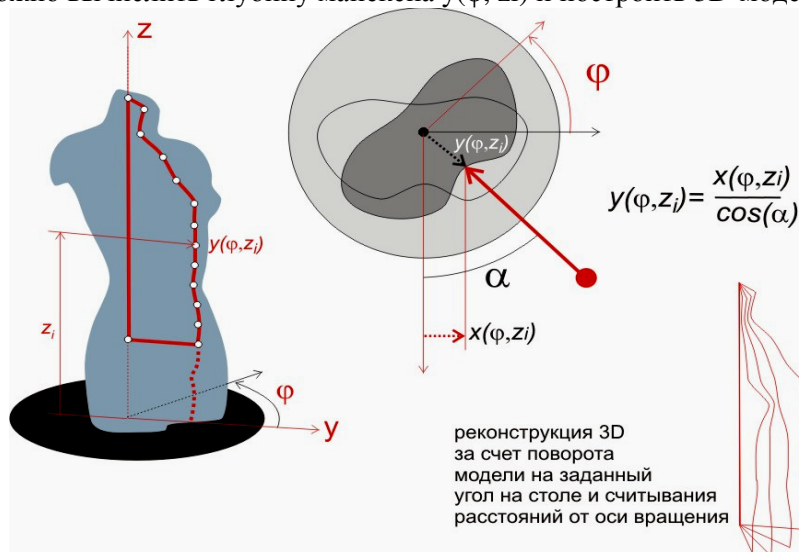


Рис. 6. Построение 3D-модели

#### 5. Заключение

Определены механические свойства трикотажных полотен. Построены приближенные модели платья и женской фигуры для отработки механизма взаимодействия трикотажного изделия с телом человека. Предложен способ снятия размеров с манекена для дальнейшего его построения в SolidWorks. Было проведено исследование масштабируемости задачи взаимодействия трикотажного платья с телом человека. Данная задача требует значительных суперкомпьютерных ресурсов.

Направления дальнейших исследований:

1. определение механических свойств максимально полного спектра различных видов трикотажных полотен с учетом вида, состава, базовых характеристик переплетения;
2. определение механических свойств различных типов трикотажных швов основных видов трикотажных полотен;
3. построение моделей различных видов трикотажной одежды со швами;
4. выявление зависимостей деформационных изменений в трикотажных изделиях с учетом наилучшей посадки изделий на фигуре;
5. верификация результатов исследований.

Используя физические методы в моделировании можно проследить отличия в поведении различных текстильных материалов, изменяя некоторый набор их свойств. Физический подход, безусловно, более привлекателен в задачах моделирования одежды, ориентированных на использование в составе САПР швейной промышленности.

## Литература

1. Струневич Е., Гетманцева В., Лопасова Л. Актуальность создания реалистичных инженерно-заданных манекенов для проектирования одежды в САПР // Сапр и графика. 2008. № 10. С. 46-48.
2. Ландовский В.В. Компьютерное моделирование одежды с использованием метода частиц // Информационные технологии моделирования и управления. 2005. №7(25) С. 934-941.
3. Muylle J., Topping B.H.V. Parallel contact detection strategies for cable and membrane structures // Lecture Notes in Computer Science. 2002. Т. 2330. Р. 787-796.
4. LS-DYNA Keyword user's manual. v.970. LSTC, 2003. - 1564p.
5. Высокопроизводительный вычислительный кластер СКИФ Урал: [[http://supercomputer.susu.ru/computers/ckif\\_ural/](http://supercomputer.susu.ru/computers/ckif_ural/)].