

*На правах рукописи*

Мэнна ГО (MengNa GUO)

**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ВИРТУАЛЬНОГО  
ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОДЕЖДЫ  
С ЭЛЕМЕНТАМИ СИМУЛЯЦИИ КОМФОРТНОСТИ**

Научная специальность 05.19.04 Технология швейных изделий

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Иваново 2015

Работа выполнена на кафедре конструирования швейных изделий Текстильного института ФГБОУ ВО «Ивановский государственный политехнический университет».

Научный  
руководитель

**Кузьмичев Виктор Евгеньевич**,  
доктор технических наук, профессор,  
заведующий кафедрой  
конструирования швейных изделий  
ФГБОУ ВО «Ивановский  
государственный политехнический  
университет», г. Иваново

Официальные  
оппоненты

**Черунова Ирина Викторовна**,  
доктор технических наук, профессор,  
декан факультета "Сервис и  
технологии" Института сферы  
обслуживания и предпринимательства  
(филиала) Донского государственного  
технического университета в г.Шахты  
Ростовской области,

**Афанасьева Наталья Валериевна**,  
кандидат технических наук, доцент,  
заведующая кафедрой технологий в  
сервисе ФГБОУ ВПО «Самарский  
государственный архитектурно-  
строительный университет», г. Самара

Ведущая организация

**ФГБОУ ВПО «Владивостокский  
государственный университет  
экономики и сервиса»**,  
г. Владивосток

Защита состоится «24» июня 2015 г. в 10:00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.144.01 при ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет дизайна и технологии»: 117997 г. Москва, ул. Садовническая, д. 33, стр.1.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Московского государственного университета дизайна и технологии и на официальном сайте вуза [www.msta.ac.ru](http://www.msta.ac.ru).

Автореферат разослан « \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2015 г.

Ученый секретарь

диссертационного совета Д 212.144.01



Е.А. Кирсанова

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность работы.** Широкое внедрение САПР одежды позволило, с одной стороны, систематизировать и формализовать информацию, накопленную в практическом конструировании и научных исследованиях, а с другой стороны, выявить актуальные направления дальнейшего развития компьютерных технологий. Одной из таких проблем является гуманизация (human friendly) принимаемых проектных решений и переход от существующего чисто механистического подхода к формированию виртуальных систем «фигура-одежда» к более реалистичному содержанию. Механистический подход состоял в выполнении проектных действий исключительно с физическими величинами, преимущественно, длинами, поверхностями и объемами, описывающими плоские чертежи деталей, текстильные материалы для одежды и частично фрагменты трехмерных систем «фигура-одежда». В рамках этого подхода человеческое тело описывалось математической моделью с переменными, относящимися к координатам точек и элементам структурных схем, объединяющим скелетно-мышечные образования и не содержащими данных о чувствительности кожных покровов под действием одежды. Недостаток такого подхода стал очевиден при разработке алгоритмов виртуальных примерок, которые пока очень далеки от реальных ситуаций и которые не в состоянии передать весь комплекс ощущений от одежды, в частности, показателей комфортности.

Переход от существующего исчерпавшего себя подхода требует качественно иных баз исходных данных. Возможным вариантом гуманистического направления в САПР является прогнозирование принимаемых конструктивных решений на этапе разработки чертежей и формирования систем «фигура-одежда» с органолептическими последствиями. Для разработки моделей прогнозирования необходимо создание обширных обучающих выборок с результатами исследования чертежей, показателей свойств материалов для одежды, объективных и субъективных показателей комфорта.

Работа выполнена в 2007-2015 гг. на кафедре конструирования швейных изделий **Текстильного института** ФГБОУ ВО «Ивановский государственный политехнический университет», лаборатории механики текстильных материалов **Университета Верхнего Эльзаса** (Haute-Alsace University, Mulhouse, Франция), **Уханьском текстильном университете** (Wuhan Textile University, Китай) и **Университете Jiang Nan** (Wuhan, Китай).

**Целью работы** является разработка метода проектирования женских платьев с прогнозируемым уровнем комфортности.

**Основные этапы работы.** Для достижения цели поставлены и решены следующие задачи:

- систематизация конструктивных параметров чертежей женских платьев, популярных в Китае в 1980-2000 гг.;
- разработка метода измерения давления одежды на мягкие ткани женских фигур;
- разработка алгоритма прогнозирования давления на поверхности тела под влиянием конструктивных и структурных параметров платьев;
- моделирование формообразования и комфортности женских платьев под влиянием показателей физико-механических свойств материалов в статической и динамической позах;
- прогнозирование объема платьев и возникающего под их действием давления на тело человека;
- разработка алгоритма и методики проектирования женских платьев с прогнозируемым уровнем комфортности и симуляции давления в виртуальных системах «фигура-одежда».

**Объекты исследования** – женские фигуры, женские платья, реальные и виртуальные системы «фигура-платье», процесс конструирования и виртуальной симуляции.

**Научная новизна** работы состоит в установлении механизма возникновения компрессионного давления в статических и динамических системах «женская фигура-платье» под влиянием конструктивных параметров чертежей и показателей свойств текстильных материалов.

**Впервые** получены следующие научные результаты.

1. Предложены новые комплексные показатели – положение плоскости проймы и объемные конструктивные прибавки – для прогнозирования трехмерной формы готовой одежды и оценки ее комфортности.

2. Разработаны цифровые шкалы для взаимного перевода значений компрессионного давления одежды на тело и рангов его субъективного восприятия.

3. Разработаны математические модели для прогнозирования объемно-пространственной формы и комфортности систем «фигура-одежда», базирующиеся на одинаковых показателях свойств текстильных материалов.

4. Разработан алгоритм метода виртуальной симуляции давления в системах «фигура-платье» с моделированием эргономических поз для гуманизации результатов автоматизированного проектирования.

**Достоверность** полученных результатов и выводов обеспечена сходимостью результатов экспериментальных и теоретических исследований, статистической достоверностью полученных

уравнений, применением современных и поверенных средств измерений,

**Методы и средства исследований.** В работе использованы в качестве средств исследований реальных фигур и систем «фигура-одежда» бодисканеры Telmat (Франция) и Human Solutions (Германия), тканей и трикотажных полотен - измерительный комплекс для механических испытаний Kawabata Evolution System KES (Япония), измерения давления под одеждой – прибор FlexForce (США). Обработку результатов измерений проводили методами корреляционного и регрессионного анализа. Органолептические ощущения носчиков оценивали методом экспертных оценок. Использовали программные продукты: для обработки результатов измерений Excel и SSPS, для моделирования виртуальных фигур и систем «фигура-одежда» - MAYA и Marvalous Designer.

**Результаты работы доложены и получили положительную оценку на следующих конференциях:** конференции молодых ученых, аспирантов и студентов «ПОИСК» (Иваново, 2007, 2011, 2012, 2014); международной научно-практической конференции ПРОГРЕСС (Иваново, 2013); международных конференциях AUTECH World Textile Conference (Задар, Хорватия, 2012; Дрезден, Германия, 2013, Бурса, Турция, 2014); третьей международной конференции АМТ Advanced Measurement and Test (Сиамень, Китай, 2013); пятой международной конференции 3D Body Scanning Technologies НОМЕТРИСА (Лугано, Швейцария, 2014), всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Чтения, посвященные памяти заслуженного деятеля науки РФ Фукина Виталия Александровича» (МГУДТ, Москва, 2014).

**Практическая значимость** состоит в разработке метода и алгоритма выбора конструктивных параметров женских платьев, обеспечивающих требуемый уровень их комфортности, в зависимости от показателей свойств применяемых материалов, баз знаний и данных для разработки новых модулей гуманистически-ориентированных и реалистичных САПР для трехмерного проектирования.

**Основные результаты** работы опубликованы в 17 работах, включая три статьи в российских журналах из перечня ВАК («Швейная промышленность», «Известия вузов. Технология текстильной промышленности»), две статьи в англоязычном журнале «AUTECH Research Journal», входящим в базу Web of Science, 11 тезисах и материалах 10 конференций, общий объем которых составляет 5 п.л. (личный вклад 3 п.л.).

**Структура диссертации.** Диссертация состоит из 5 глав, изложена на 215 страницах, включает 39 таблиц, 76 рисунков, 8 приложений, 183 литературных источника.

## СОДЕРЖАНИЕ

Во **введении** обоснована актуальность исследования, сформулированы цель и задачи, приведены сведения о научной и практической значимости.

В **первой главе** проведен анализ современного состояния исходных данных для традиционного и автоматизированного проектирования с позиций достижения комфортности одежды. Рассмотрено современное состояние САПР одежды с позиций структуры и содержания баз данных, обеспечения показателей комфортности, полноты учета показателей свойств текстильных материалов при прогнозировании объемно-пространственной формы.

Для достижения реалистичности виртуальной одежды ее форму моделируют с использованием следующих показателей: драпируемости, жесткости, способности к сладкообразованию и др. Показано, что комплекс приборов KES (Япония) для испытания текстильных материалов под действием небольших по величине нагрузок воспроизводит все виды деформаций растяжения, сдвига и изгиба, возникающих при эксплуатации одежды. Этот измерительный комплекс используют для оценки возможности применения тех или иных тканей для производства конкретных видов одежды на этапе конфекционирования. Однако выбор численных значений показателей ориентирован только на оценку их формовочной способности, способности сохранять форму и способности к переработке в условиях швейных предприятий.

Виртуальное проектирование систем «фигура-одежда» в ситуациях примерок включает проверку соразмерности одежды на отдельных участках и вычисления напряжений, возникающих внутри материалов, как правило, для малообъемной одежды. Разработаны специальные модули для цветовой идентификации напряжений внутри одежды. Однако модули, ответственные за идентификацию органолептических ощущений, пока отсутствуют. Это значительно снижает реалистичность примерок, которые пока воспроизводят на простейшем уровне механизм механического взаимодействия одежды и фигуры.

Определены направления дальнейшего развития САПР в направлении разработки гуманистических (human-friendly) модулей, которые должны содержать базы знаний об особенностях субъективных ощущений носчиков, зонах с разным давлением одежды на поверхность тела, ограничений по выбору значений конструктивных прибавок и текстильных материалов для обеспечения заданного уровня комфортности. На рис.1 показана структура разрабатываемой гуманистически ориентированной САПР.



Рис.1. Структура функционирования САПР, включающая традиционные модули (механистические) и перспективные (гуманистические)

Показано, что разработка алгоритма виртуальных примерок с включением программных модулей и специальных баз данных, моделирующих органолептические особенности взаимодействия одежды с фигурой, может явиться новым направлением развития САПР с позиций наполнения его гуманистическим содержанием.

Во **второй главе** исследованы художественно-конструктивные особенности женских платьев в период 1980-2014 гг. в Китае. Исследовано влияние конструктивного устройства женских платьев на их форму, выделены основные силуэты, установлены варианты проектирования талиевых выточек на примере 363 чертежей конструкций и фотографий женских платьев. Выполнена параметризация фотографий и чертежей. Сформулировано понятие "типичного" платья, популярного в КНР, с позиций силуэтов и приемов формообразования. Результаты этой главы послужили базой знаний для обоснования объектов и режимов исследования в последующих главах.

Во **третьей главе** изучено влияние конструктивного устройства женских платьев на показатели комфортности. На этом этапе в качестве объектов исследования были выбраны *женские платья из одного вида материала*, но отличающиеся следующими конструктивными параметрами и структурой: без рукавов, с коротким или длинным рукавами; величинами конструктивных прибавок;

параметрами талиевых вытачек; распределением составляющих основной прибавки между полочкой, проймой и спинкой. Описаны методы средства исследований, структура всех натуральных и теоретических экспериментов. Связь конструктивного устройства платьев с их комфортностью оценивали через единичные и комплексные показатели.

Для обоснования предельных значений компрессионного давления между платьем и фигурой использовали датчик **FlexiForce** измеряли в областях, центрами которых являются антропометрические точки (рис.2), в разных динамических позах (рис.3).

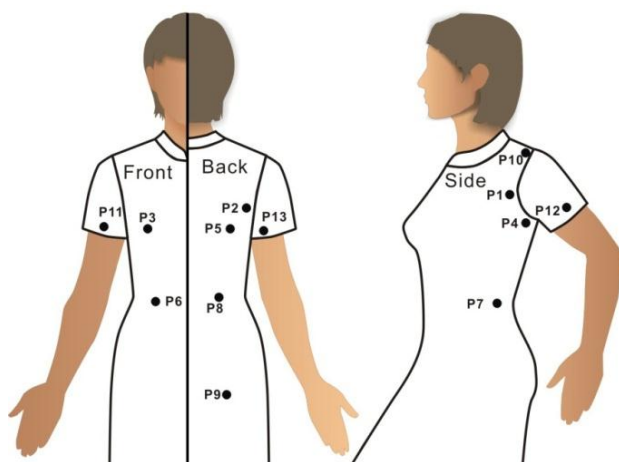


Рис.2. Области около точек для измерения давления платья на поверхность тела спереди (*front*), сзади (*back*) и сбоку (*side*):

*P1* – передний угол подмышечной впадины, *P2* – задний угол подмышечной впадины, *P3* – выступающая точка грудных желез, *P4* – в подмышечной впадине, *P5* – ниже лопаточной точки на уровне обхвата груди третьего, *P6* – спереди на уровне талии, *P7* – сбоку на уровне талии, *P8* – сзади на уровне талии, *P9* – выступающая точка ягодиц, *P10* – плечевая точка, *P11* – внизу рукава спереди, *P12* – внизу рукава сбоку, *P13* – в низу рукава сзади

Параллельно с измерением давления проводили опрос экспертов относительно их ощущений с использованием шкалы оценок.

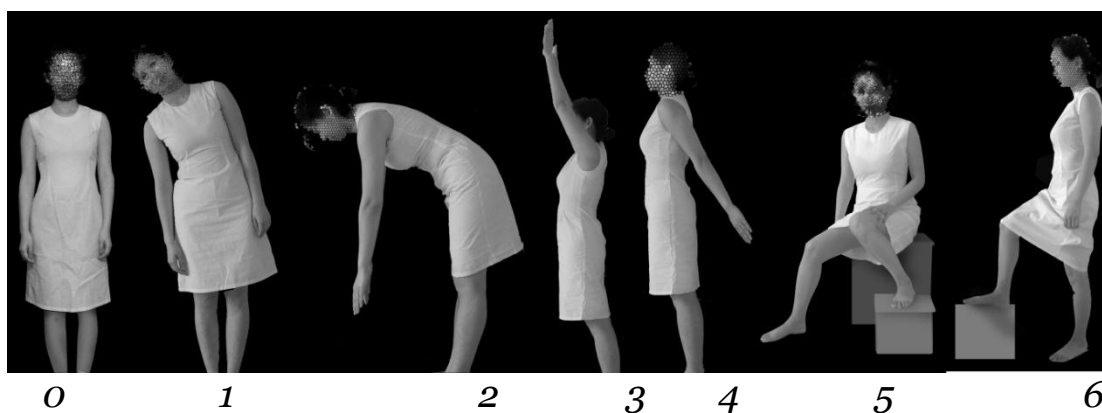


Рис. 3. Эргономические позы, исследованные в эксперименте (слева направо): 0 - статическая, 1 - наклон в сторону, 2 - наклон вперед, 3 - подъем рук, 4 - отведение рук назад, 5 - выход из автомобиля, 6 - подъем по лестнице



Результаты исследований позволили выделить пять зон с разными уровнями чувствительности к компрессионному давлению в диапазоне от 390 до 3400 Па.

**Влияние конструктивных параметров платьев на компрессионное давление.** Была подтверждена существующая закономерность между величинами основных прибавок – к полуобхватам груди  $P_{СтЗ}$  и талии  $P_{Ст}$  – и возникающим под их влиянием давлением по периметрам торса. Зависимости между ними имеют линейный характер и позволяют прогнозировать усредненную величину давления по периметрам фигуры, возникающей под действием конструктивных прибавок из интервала 1...5 см:

$$P_{Г} = 1203 - 73P_{СтЗ} \quad (r = -0,97397), \quad (1)$$

$$P_{Т} = 956 - 112P_{Ст} \quad (r = -0,96452), \quad (2)$$

где  $P_{Г}$ ,  $P_{Т}$  - средние значения давления вокруг фигуры соответственно на уровнях груди и талии, Па;  $P_{СтЗ}$ ,  $P_{Ст}$  - прибавки соответственно к полуобхватам груди третьему и талии, см;  $r$  - коэффициент парной корреляции.

Влияние **талиевых выточек** на возникновение компрессионного давления установлено на двух участках: вокруг проймы и на линии талии. Наличие **рукавов разной длины** влияет на возникающее давление и соответственно допустимые сочетания конструктивных прибавок (табл.1).

Таблица 1

Степень комфортности платьев с разной структурой

Прибавки $P_{СтЗ}/P_{Ст}$ , см	Степень комфортности в разных антропометрических точках					
	уровень груди			уровень талии		
	выступающая точка грудных желез $P3$	точка в подмышечной впадине $P4$	точка на спине $P5$	точка спереди $P6$	точка сбоку $P7$	точка сзади $P8$
Платье без рукавов						
1/1	C	U	U	U	U	U
2/1,5	C	U	E	U	U	U
3/2	C	E	E/C	E/C	E/C	E/C
4/2,5	C	E/C	C	C	C	C
5/3	C	C	C	C	C	C
Платье с коротким рукавом						
1/1	C	U	U	U	U	U

Окончание таблицы						
2/1,5	C	U	U	U	U	U
3/2	C	E	E	E	E	E/C
4/2,5	C	E/C	E	E/C	E/C	E/C
5/3	C	C	C	C	C	C
Платье с длинным рукавом						
1/1	E/C	U	U	U	U	U
2/1,5	C	U	U	U	U	U
3/2	C	U	U	U	U	U
4/2,5	C	U/E	U	E	U/E	U
5/3	C	E	E	C	E/C	E

Удельный вес конструкций, вызывающих дискомфорт, составляет: для безрукавных платьев 30 %, с коротким рукавом 33 %, с длинным рукавом 63 %.

**Влияние распределения составляющих основных прибавок между полочкой, проймой и спинкой  $P_{ШГ}$ ,  $P_{ШПр}$ ,  $P_{ШС}$**  имеет более сложный характер, чем общей прибавки  $P_{СГЗ}$  (1). На рис.4 показаны графики изменения давления в области подмышечных впадин под влиянием перечисленных прибавок, аппроксимирующие их уравнения и коэффициенты детерминации ( $R^2$ ).

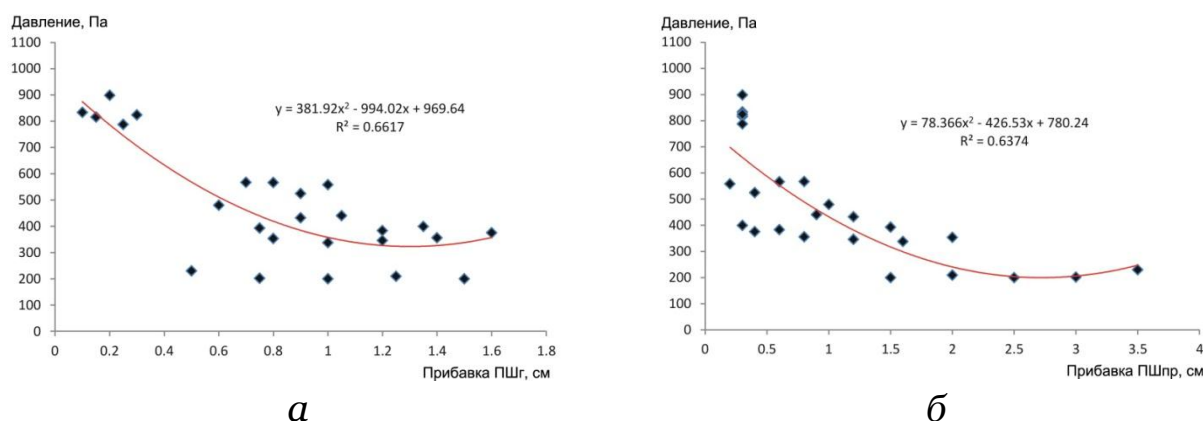


Рис.4. Изменение давления в точках  $P_1$  и  $P_2$  (см. обозначения на рис.1) под влиянием составляющих основной прибавки в платьях без рукавов: а – прибавка  $P_{ШГ}$ , б – прибавка  $P_{ШПр}$

Нелинейный характер влияния каждой прибавки более точно описывает механизм возникновения и исчезновения давления

$$P = 381,9 P_{ШГ}^2 - 994 P_{ШГ} + 969,6 \quad (r = -0,8135), \quad (3)$$

$$P = 78,37 P_{ШПр}^2 - 426,5 P_{ШПр} + 780,2 \quad (r = -0,7984), \quad (4)$$

$$P = 311,8 P_{ШС}^2 - 1038,8 P_{ШС} + 1135,1 \quad (r = -0,8322), \quad (5)$$

$$P = 6,6 P_{СГЗ}^2 - 160 P_{СГЗ} + 1082 \quad (r = -0,96674). \quad (6)$$

Все графики на рис.4 имеют участки с сильно и слабовыраженным влиянием прибавок: сильное влияние ограничено начальными значениями, выше которых из-за формирования воздушной прослойки между фигурой и платьем последнее получает возможность перемещаться и потому давление стабилизируется. Установлены зоны дискомфорта для платьев разных форм. Начиная с некоторых значений, прибавки перестают оказывать влияние на возрастание компрессионного давления, а при их комбинации одежда воспринимается экспертами как комфортная. Таким сочетанием, которое может быть принято в качестве базового для проектирования комфортных платьев, является, в частности:

$$P_{Шг} = 1 \text{ см}(22 \%), P_{Шпр} = 2 \text{ см}(44 \%), P_{Шс} = 1,5 \text{ см}(34 \%). \quad (7)$$

В порядке убывания давления, оказываемого платьем на поверхность фигуры, точки образуют следующий ряд, позволяющий прогнозировать топографию зон распределения давления (в скобках указано среднее значение давления по всем исследованным позам):

*в платьях без рукавов*

$$P_4 (1203) - P_5 (724) - P_6 (565) - P_7 (513) - P_2 (492) - P_1 (453) - P_8 (405) - P_3 (323) - P_9 (281), \quad (8)$$

*в платьях с рукавами*

$$P_4 (1006) - P_2 (765) - P_1 (570) - P_5 (563) - P_{12} (540) - P_{10} (480) - P_6 (428) - P_7 (387) - P_8 (363) - P_{10} (334) - P_9 (321) - P_3 (169) - P_{13} (131). \quad (9)$$

Произведено согласование объективных и субъективных показателей комфортности. Для комфортного состояния максимальные значения давления равны, Па: по линии сочленения руки с туловищем  $A - 1200$ , по обхвату груди  $B - 1410$ , по обхвату талии  $W - 1050$ , а для некомфортного -  $A - 1650...2005$ ,  $B - 1700...2400$ ,  $W - 1200...2400$ .

Пример схемы корректировки исходного чертежа, имеющего невысокий показатель комфорта, в чертеж с более высокими показателями за счет использования полученных выражений (3-6) показан на рис.5.

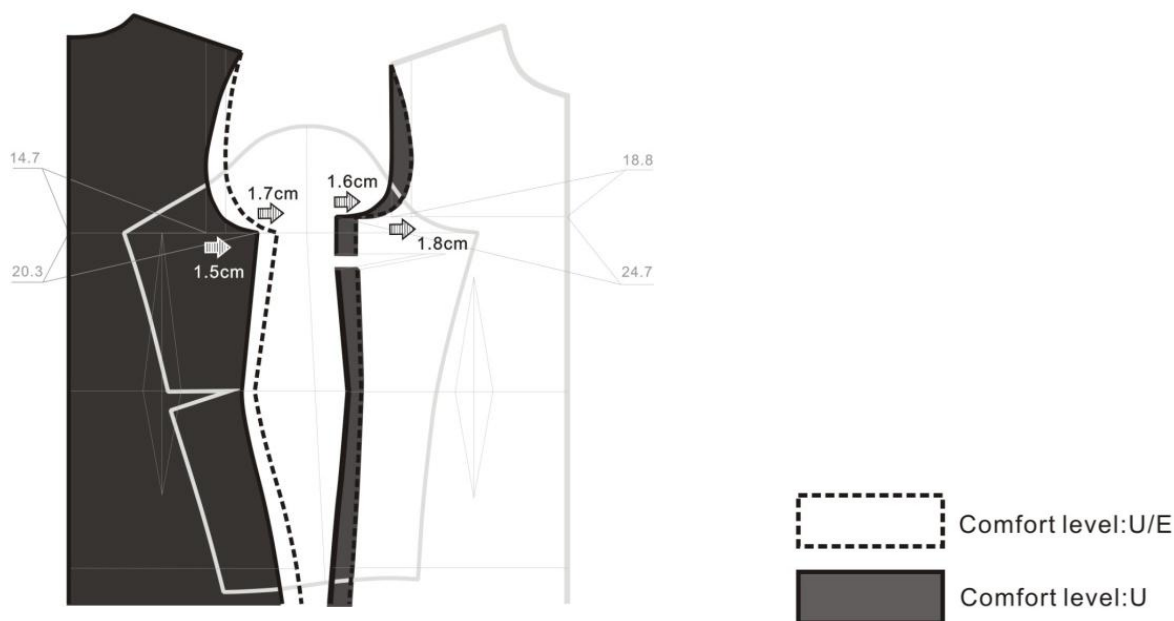


Рис.5. Схема корректировки чертежа платья с длинным рукавом для повышения уровня комфортности с  $U$  (неудовлетворительного) до  $U/E$  (неудовлетворительно-удовлетворительного)

После произведенных корректировок в виде перераспределения прибавок по линии груди ранг комфортности повысился в среднем на 21 %.

**Разработка комплексных показателей** преследовала цель комплексного учета влияния составляющих основной прибавки. *Первым показателем* стал угол разворота плоскости проймы относительно естественного положения линии сочленения руки с туловищем (рис.6).

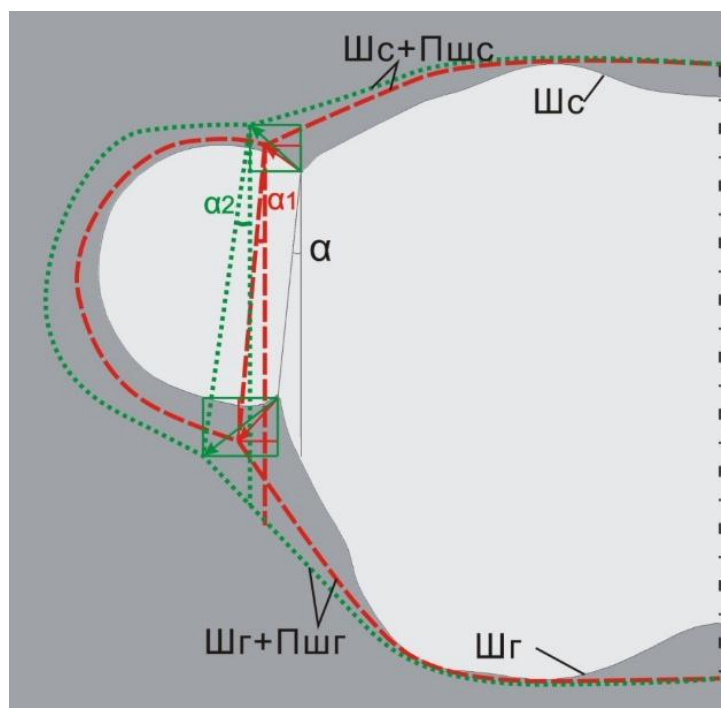


Рис.6. Схема измерения угла разворота плоскости проймы ( $\alpha_1$  и  $\alpha_2$ ) относительно плоскости, проходящей через линию сочленения руки с туловищем  $\alpha$ , под влиянием сочетания прибавок к ширинам спины  $P_{шс}$  и груди  $P_{шг}$

Исследовано влияние угла разворота плоскости проймы на возникновение давления; установлено, что увеличение угла разворота плоскости проймы за счет увеличения  $P_{Шс}$  и уменьшения  $P_{Шг}$ , уменьшает возникающее давление.

В качестве *второго показателя* была выбрана объемная конструктивная прибавка  $KПV$ , равная разности между объемами одежды и фигуры, заключенными между смежными горизонтальными уровнями

$$KПV_{i,j} = f(PP_i, PP_j, KP_i, KP_j, TM), \quad (10)$$

$$KПV_{i,j} = V_{од\ i,j} - V_{ф\ i,j}, \quad (11)$$

где  $KПV_{i,j}$  - объемная конструктивная прибавка между двумя смежными  $i$  и  $j$  антропометрическими уровнями, см<sup>3</sup>;  $PP_i, PP_j$  - размерные признаки фигуры, измеренные соответственно на смежных антропометрических  $i$  и  $j$  уровнях, см;  $KP_i, KP_j$  - линейные конструктивные прибавки соответственно к обхватным измерениям, проектируемых на смежных конструктивных  $i$  и  $j$  уровнях, см;  $TM$  - показатель свойств текстильных материалов;  $V_{од\ i,j}, V_{ф\ i,j}$  - объемы фрагментов торсов стана одежды и фигуры, вычисленные соответственно между смежными  $i$  и  $j$  уровнями, см<sup>3</sup>.

Объемная конструктивная прибавка учитывает несколько факторов, относящихся к фигуре, платьям и их системе: пластику поверхности фигуры; разность между обхватными измерениями фигуры и одежды (чертежа) на антропометрическом и конструктивном уровнях; способность текстильного материала повторять форму участков фигуры; влияние конструктивных элементов одежды (вытачек, размеров деталей и др.) на изменение пластики ее поверхности. Для параметризации величин, необходимых для вычисления объемных прибавок и их последующего проектирования, мы использовали технологии бодисканирования и реконструкции виртуальных объектов (**рис.7**). В платьях без рукавов увеличение объемной конструктивной прибавки с 982 до 3708 см<sup>3</sup> (в 3,7 раза) сопровождается уменьшением среднего значения давления с 821 до 298 кПа (в 2,7 раза). Введение в конструкцию платья рукавов значительно изменяет топографию комфортных и дискомфортных зон даже при одних и тех же значениях конструктивных прибавок. Очевидным выводом является недопустимость использования одного и того же набора конструктивных прибавок для стана при разных вариантах рукавов.

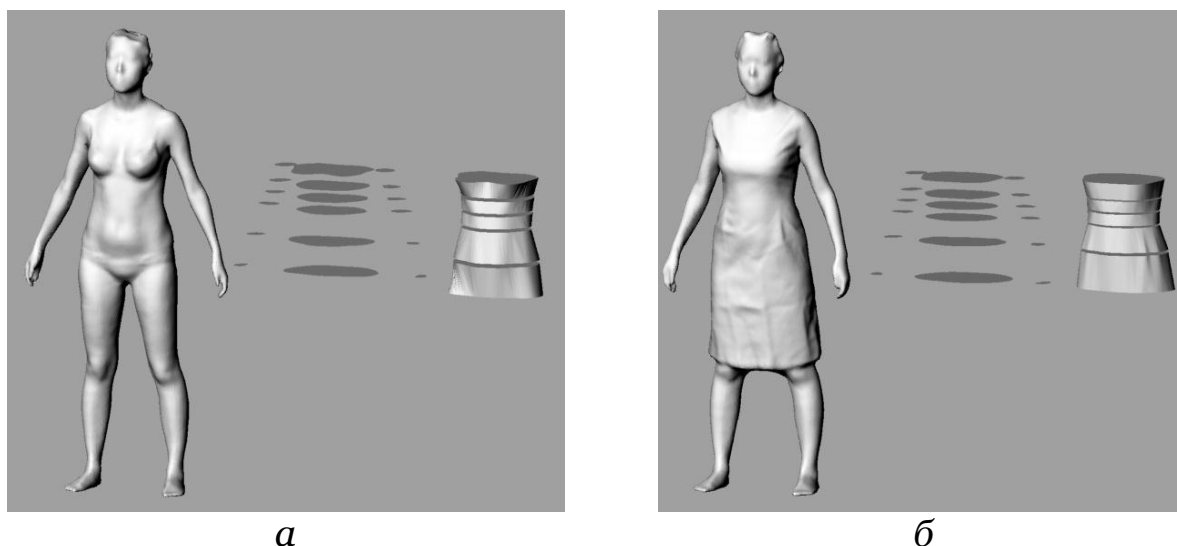


Рис.6. Этапы параметризации фигуры (а) и системы «фигура-платье» (б) для получения горизонтальных сечений и реконструкции фрагментов торса фигуры и стана платья

Таким образом, сформирована база данных о комфортности женских платьев под влиянием разных конструктивных параметров.

В **четвертой главе** изучено влияние показателей свойств текстильных материалов на формообразование и комфортность женских платьев. Инструментальная база включала комплекс приборов Kawabata Evaluation System (KES-F) для измерения 11 единичных показателей в условиях действия небольших по величине нагрузок сдвига, растяжения, чистого изгиба и компрессионного сжатия. Выбор этих приборов был обусловлен идентичностью лабораторных и реальных условий механического нагружения проб текстильных материалов при испытаниях и деформационными процессами в текстильной оболочке при ее формообразовании вокруг фигуры в статических и динамических условиях. Были измерены следующие показатели:

- жесткость при сдвиге на 8 град.,  $G$ , сН/см·град,
- гистерезис кривой «усилие - угол сдвига  $\pm 0,5$  град.» при нагружении и релаксации,  $2HG$ , сН/см,
- гистерезис кривой «усилие - угол сдвига  $\pm 5$  град.» при нагружении и релаксации,  $2HG5$ , сН/см,
- работа растяжения под нагрузкой 500 сН,  $WT$ , сН·см/см<sup>2</sup>,
- нагрузка, необходимая для удлинения на 0,5 %, сН,
- деформация удлинения под нагрузкой 500 сН,  $EMT$ , %,
- линейность кривой «нагрузка – растяжение/отдых»,  $LT$ ,
- доля упругой деформации растяжения,  $RT$ , %,
- жесткость при изгибе,  $B$ , сН·см<sup>2</sup>/см,
- работа сжатия,  $WC$ , сН·см/см<sup>2</sup>.

Форму исследованных платьев описывали через величины объемных конструктивных прибавок  $KPIV$ , которые были разделены

на три вида: непосредственно под верхней опорной поверхностью фигуры под влиянием особенностей ее пластики, между верхней и нижней опорными поверхностями и не испытывающие прямого воздействия пластики фигуры, непосредственно над нижней опорной поверхностью. Связь между величинами  $KПV$  и показателями свойств материалов исследовали с применением метода корреляционно-регрессионного анализа. Сформирован следующий ряд из наиболее важных показателей (в порядке убывания их влияния на объем платяев по среднему значению коэффициента корреляции):

$$\mathbf{WC (-0,598) - 2NB (0,595) - B (0,576) - RT (-0,538) - LT (0,509) - 2HG5 (0,399).} \quad (12)$$

В модель для прогнозирования  $KПV$  включены следующие показатели:

- из показателей растяжения – линейность кривой «нагрузка – растяжение/отдых»  $LT$ . Применительно к формообразованию текстильной оболочки этот показатель может быть отнесен к ее способности адаптироваться под пластику фигуры при изменении ее поз. Чем выше значение  $LT$ , тем труднее адаптировать оболочку под форму фигуры;

- из показателей изгиба – жесткость при чистом изгибе  $B$ , показывающего способность текстильной оболочки сопротивляться разнонаправленному изгибу вокруг фигуры. Чем выше значение  $B$ , тем труднее изгибается материал и тем выше объем воздушного пространства между фигурой и платяем.

Получены однофакторные и многофакторные регрессионные модели для прогнозирования значений  $KПV$ .

Параллельно оценивали комфортность этих же платяев. Давление измеряли в 13 областях, расположенных на участках сочленения руки с туловищем, обхвата плеча, груди и талии. Интервал изменения давления составил 113,2...1198 Па. Установлено, что значения физического давления и субъективные ранги комфортности очень тесно коррелируют между собой. По влиянию на комфортность составлен следующий ряд из показателей свойств материалов (в скобках указано среднее значение коэффициента корреляции):

$$\mathbf{WC (-0,53) - 2NB (0,53) - B (0,513) - RT (-0,47) - LT (0,443) - 2HG5 (0,348).} \quad (13)$$

На основании анализа и установленных ограничений выбраны жесткость при чистом изгибе  $B$  и линейность кривой «нагрузка – растяжение/отдых»  $LT$ . Получены двухфакторные регрессионные уравнения для согласования объективных и субъективных оценок

давления с показателями свойств текстильных материалов ( $n = 27$ , доверительная вероятность 95 %,  $F_{\text{крит}} = 1,91$ ):

объективная оценка  $P = 24,55 + 577,4 LT + 775,56 B; F = 2,23, \quad (14)$

субъективная оценка  $CP = -0,07 + 0,12 LT + 0,31 B; F = 12,43, \quad (15)$

где  $P$  – давление, Па;  $CP$  – субъективный ранг степени комфортности;  $LT$  – среднее значение линейности кривой «нагрузка – растяжение/отдых» при нагрузке 500 сН по основе и утку;  $B$  – среднее значение жесткости при чистом изгибе по основе и утку, сН·см<sup>2</sup>/см;  $F$  – критерий Фишера.

После параллельного анализа формообразования и комфортности нами была установлена значимость влияния одних и тех показателей механических свойств материалов. Это свидетельствует о существовании единого механизма для двух разных процессов в системе «фигура-одежда»: формообразования текстильной оболочки вокруг фигуры (в статических условиях) и возникновения давления оболочки на фигуру при динамическом изменении размерных признаков и смещении оболочки по поверхности тела (в динамических условиях).

Таким образом, впервые получены уравнения для прогнозирования показателей объемно-пространственной формы женских платьев и заданного уровня комфортности на основе единой базы данных, относящейся к текстильным материалам.

В **пятой главе** разработан алгоритм симуляции давления для технологии виртуальных примерок. Сформирована база данных, включающая комплекс показателей свойств текстильных материалов, закономерности давления платьев, имеющих разное конструктивное устройство и объемно-силуэтную форму, на тело, ранжированные субъективные ощущения и значения допустимых значений давления, воспринимаемых потребителями. Такая база данных позволила разработать алгоритм виртуальной симуляции давления в системе «фигура-платье» для повышения реалистичности виртуальных примерок (рис.7).



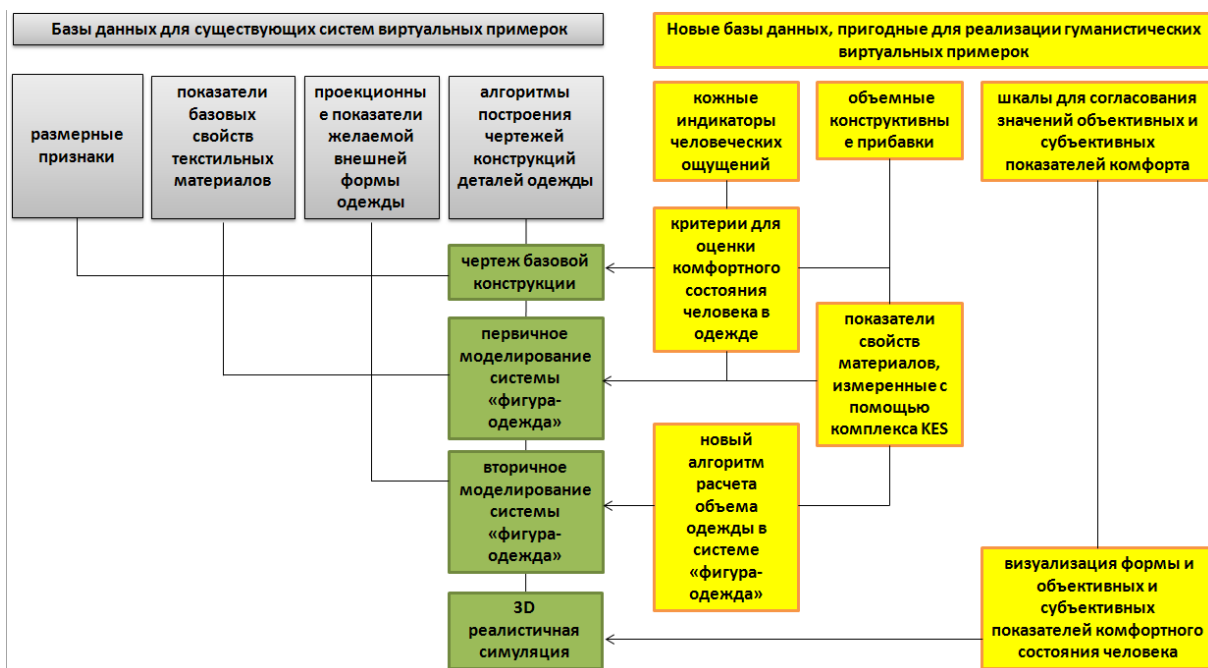


Рис.7. Структура разрабатываемого процесса проектирования одежды с требуемым уровнем комфортности

Для согласования объективных и субъективных показателей давления и комфортности разработаны цветовые шкалы (рис. 8).

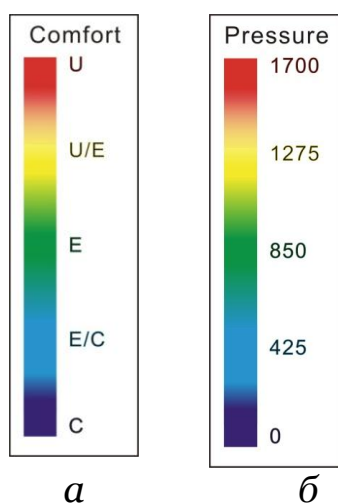


Рис.8. Шкалы комфортности (а) и фактического давления (б), разработанные для дружественного человеку алгоритма виртуальных примерок: а – шкала субъективной оценки комфортности, единица – измерения – уровень комфортности; б – шкала физического давления одежды на тело, единица измерения - Паскаль

Алгоритм включает следующие этапы, основанные на использовании перечисленных компонентов базы данных и имеющихся программных продуктов:

- проектирование виртуальной системы «фигура-платье»:
  - 1) разработка аватаров женских фигур в разных динамических позах в программе MAYA,
  - 2) выбор текстильного материала,
  - 3) измерение показателей свойств материала на плоских пробах,
  - 4) выбор конструктивных параметров для получения желаемой формы платья,
  - 5) компьютерное моделирование систем «фигура-платье» в

статике;

6) измерение объемных конструктивных прибавок,  
- генерирование информации о давлении в системе «фигура-платье»:

7) измерение давления в выбранных антропометрических точках и разных статических и динамических позах с параллельной оценкой субъективных ощущений,

8) разработка цветных шкал, согласовывающих значения давления и его субъективное восприятие,

- компьютерная симуляция комфортного состояния:

9) компьютерное моделирование систем «фигура-платье» в динамике;

9) выделение на поверхности платья зон с примерно одинаковым механизмом возникновения давления под действием одежды,

10) идентификация границ зон на поверхности платья в статике и динамике в программе “Marvellous designer”;

- корректировка виртуальной системы для достижения более комфортного состояния.

На рис. 9, а показан пример трансформации реальной фигуры в виртуальный аватар в динамической позе.

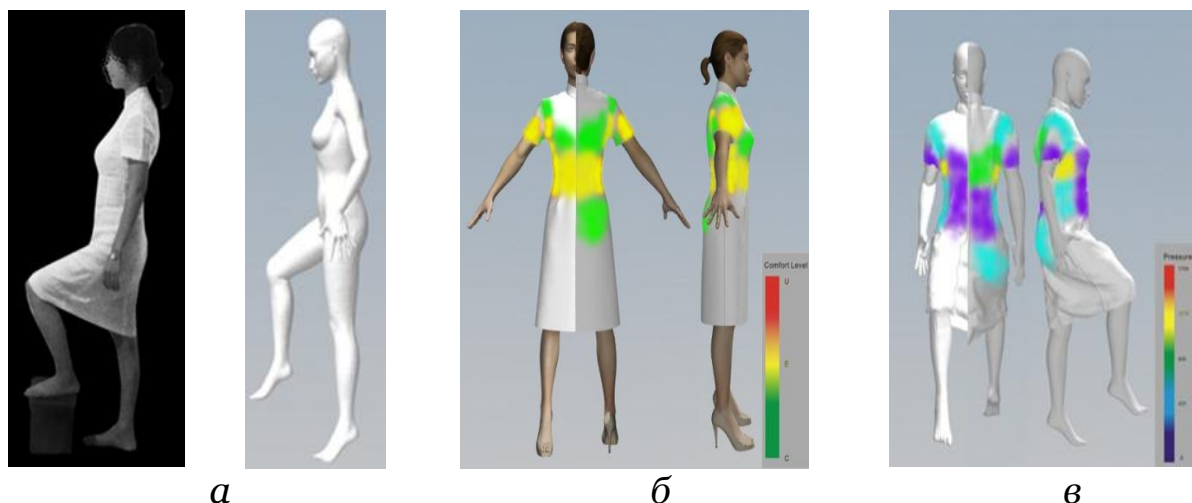


Рис.9. Пример реальной фигуры и виртуального аналога (а), схема симуляции субъективного восприятия давления (б) и схема фактического распределения давления (в) для виртуальных систем «фигура-платье»

Затем на основе виртуальных динамических манекенов с помощью программы 3D CLO” моделируют системы «фигура-платье». Используя ранее полученные результаты (величины объемных прибавок, показатели свойств материалов, зависимости между давлением в разных точках и конструктивными параметрами) и выбирая такую же или близкую динамическую позу, моделируют картину распределения давления. Зонами с примерно одинаковым

механизмом восприятия давления являются: вокруг линии сочленения руки с туловищем, по линии обхвата бицепса, вокруг обхвата груди, вокруг обхвата талии. На рис.9, б показан конечный результат реализации алгоритма симуляции в виде схем зон разной степени комфортности действия давления.

Таким образом, разработана архитектура и информационное содержание для метода проектирования женских платьев с элементами симуляции комфортности.

Цель, поставленная в диссертационной работе, достигнута.

### **Выводы и рекомендации**

1. На основании анализа существующих баз данных, алгоритмов и интерфейсов, относящихся к традиционным и компьютеризированным методам проектирования одежды, установлено, что перечень исходных данных не включает показатели комфортности проектируемой одежды, а сочетания конструктивных параметров и показателей свойств текстильных материалов ориентированы исключительно на получение ограниченного количества объемно-пространственных форм.

2. Определены критериальные значения давления, возникающего под воздействием платьев различного конструктивного и структурного устройства, и установлены зоны его распределения на поверхности женской фигуры в виде интервалов физических значений и рангов субъективных ощущений.

3. Впервые установлены закономерности возникновения и распределения давления в системе «фигура-платье» под влиянием различных динамических поз, значений конструктивных прибавок и их распределением между участками фигуры, параметров талиевых выточек, длины рукава, объемной формы женских платьев.

4. Впервые обоснован единый механизм, описывающий пространственное формообразование платьев, возникновения давления под ними на основных участках торса женской фигуры, с использованием информации, полученной на инструментальном комплексе Kawabata Evaluation System и базирующийся на применении единой номенклатуры показателей растяжения и жесткости текстильных материалов.

5. Предложены и обоснованы новые комплексные показатели – объемная конструктивная прибавка и положение плоскости проймы, синтезирующие единичные показатели, относящиеся к чертежам конструкций, размерным признакам фигур и показателям свойств текстильных материалов. Эти показатели необходимы для проектирования реалистичной одежды и прогнозирования комфортности сочетаний конструктивных прибавок.

6. Разработан метод проектирования чертежей конструкций женских платьев, включающий системы математических уравнений

для прогнозирования объемно-пространственной формы и вызываемого ею давлением в системе «фигура-одежда».

7. Разработан алгоритм симуляции давления в системе «фигура-платье», который может быть реализован при виртуальных примерках и прогнозирования комфортности женских платьев в статических и динамических условиях.

8. Результаты работы рекомендуется использовать для совершенствования традиционных и автоматизированных систем конструирования одежды, разработки программных модулей для САПР с элементами гуманизации результатов проектирования, в учебном процессе высших учебных заведений при обучении бакалавров и магистров по направлению подготовки «Конструирование изделий легкой промышленности».

**Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:**

***статьи в журналах из перечня ВАК***

1. Го, М. Влияние объемных конструктивных прибавок на комфортность женских платьев (часть 1)/ М.Го, В.Е.Кузьмичев // Швейная промышленность, 2014, № 1, с. 28-32 (импакт-фактор 0,076 за 2013 г.).- 0,31 п.л. (личного вклада 0,2 п.л.).

2. Го, М. Прогнозирование давления платьев на поверхность женских фигур (часть 2) / М.Го, В.Е.Кузьмичев // Швейная промышленность, 2014, № 2, с. 37-40 (импакт-фактор 0,076 за 2013 г.). - 0,25 п.л. (личного вклада 0,15 п.л.).

3. Го, М. Прогнозирование объема и комфортности систем «фигура-платье» из разных материалов / М.Го, В.Е.Кузьмичев // Известия вузов. Технология текстильной промышленности, 2014, № 1, с.129-136 (импакт-фактор 0,023 за 2012 г. 0,084). - 0,5 п.л. (личного вклада 0,3 п.л.)

***статьи в иностранных журналах из перечня Web of Science***

4. Guo, M. Pressure and comfort perception in the system “female body-dress” / M.Guo, V.E.Kuzmichev // AUTEX Research Journal, 2013, September, vol. 13, №. 3, pp. 71-78 (импакт-фактор 0,618 за 2013 г.). – 0,5 п.л. (личного вклада 0,3 п.л.)

5. Guo M. Human-friendly design of virtual systems “female body - dress”/ M.Guo, V.E.Kuzmichev, D.C.Adolphe // AUTEX Research Journal, Vol.15, No 1, March 2015, pp.19-29 (импакт-фактор 0,618 за 2013 г.). - 0,5 п.л. (личного вклада 0,3 п.л.)

***тезисы и материалы конференций***

6. Guo, M. Влияние конструктивных параметров на силуэты женских платьев / М.Го, В.Е.Кузьмичев: Молодые ученые - развитию

текстильной и легкой промышленности (ПОИСК-2007): сборник материалов межвузовской научно-технической конференции аспирантов и студентов. - Иваново: ИГТА, 2007, с. 191-193.

7. Guo, M. Параметризация талиевых выточек в женских платьях / М.Го, В.Е.Кузьмичев: Молодые ученые - развитию текстильной и легкой промышленности (ПОИСК-2011): сборник материалов межвузовской научно-технической конференции аспирантов и студентов. Часть 1. - Иваново: ИГТА, 2011, с. 191-193.

8. Guo, M. Влияние конструктивных параметров выточек на силуэты женских платьев / М.Го, В.Е.Кузьмичев: Молодые ученые - развитию текстильной и легкой промышленности (ПОИСК-2011): сборник материалов межвузовской научно-технической конференции аспирантов и студентов. Часть 1. - Иваново: ИГТА, 2011, с.193-194.

9. Guo, M. Исследование трехмерного формообразования женского платья / М.Го, В.Е.Кузьмичев: Молодые ученые – развитию текстильной и легкой промышленности (ПОИСК-2012): сб. материалов межвуз. науч.-техн. конф. аспирантов и студентов. Часть 1. – Иваново: ИГТА, 2012. – С. 153-154.

10. Guo, M. Research about 3D women dress shaping / M.Guo, V.E.Kuzmichev . Book of proceedings, 12<sup>th</sup> AUTEX World Textile Conference, Innovative Textile for high future demands. Volume 1. - Zadar, 2012, с. 1011-1016.

11. Guo M., Кузьмичев В. Е. Определение минимально-необходимых конструктивных прибавок в женских платьях / М.Го, В.Е.Кузьмичев: Современные наукоемкие технологии и перспективные материалы текстильной и легкой промышленности (ПРОГРЕСС-2013): Сборник материалов межд. науч.-техн. конф.. Часть 2. - Иваново, Текстильный институт ИВГПУ, 2013, с.18-20

12. Го М., Кузьмичев В.Е. Согласование конструктивных параметров женских платьев с ощущениями комфорта / М.Го, В.Е.Кузьмичев // Инновации и перспективы сервиса: Сборник научных статей заочной X Международной научно-практической конференции, 7 декабря 2013 г. Часть I. Уфа. 2013 г. 196 с.

13. Го, М. Виртуальная симуляция давления, вызванного одеждой из разных материалов, во время примерок / М.Го, В.Е.Кузьмичев : Молодые ученые – развитию текстильно-промышленного кластера (ПОИСК-2014): сборник материалов межвуз. науч.-техн.конф. аспирантов и студентов с межд. Участием. Ч.1. – Иваново: ИВГПУ, 2014, с. 106-107.

14. Кузьмичев, В.Е. Виртуальное проектирование одежды с идентификацией уровня ее комфортности / В.Е.Кузьмичев, М.Го: Сборник научных статей и воспоминаний «Памяти В.А.Фукина посвящается». Часть 2. – М.: МГУДТ, 2014, с.196-205.

15. Guo, M. Complex approach to designing of comfortable system "female body-dress" / M.Guo, V.E.Kuzmichev, D.C.Adolphe . 14th AUTEX World Textile Conference. Book of abstracts. – Bursa, Turkey, 2014, p. 45.

16. Kuzmichev, V.E. Realistic virtual system "Female body - Dress" based on scanning technologies // V.E.Kuzmichev, M.Guo: Proceeding of 5th International Conference on 3D Body Scanning Technologies, Lugano, Switzeland, 21-22 October 2014, p.196-204.

***в других изданиях***

17. Guo, M. How human body feel pressure with woman dress in medical aspect / M.Guo, V.E.Kuzmichev // Advanced Materials Research (Switzerland), 2013, vol.718-720, pp. 586-592.

Подписано в печать \_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_. 2015. Формат 1/16 60x84.

Бумага писчая. Плоская печать.

Усл.печ.л. 1,22. Уч.-изд.л. 1,17 Тираж 80 экз. Заказ № \_\_\_\_\_

---

---

Редакционно-издательский отдел Текстильного института  
Ивановского государственного политехнического университета  
Копировально-множительное бюро  
153000, г. Иваново, пр. Ф.Энгельса, 21