

На правах рукописи



Чжан Шичао (Zhang Shichao)

**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ
ВИРТУАЛЬНОЙ РЕКОНСТРУКЦИИ ИСТОРИЧЕСКОЙ
МУЖСКОЙ ОДЕЖДЫ
НА ОСНОВЕ РЕВЕРСИВНОГО ИНЖИНИРИНГА**

Научная специальность – 05.19.04 Технология швейных изделий

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Иваново – 2021

Работа выполнена на кафедре конструирования швейных изделий Института текстильной индустрии и моды 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 **Коробцева Надежда Алексеевна**, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры "Дизайн костюма" ФГБОУ ВО "Российский государственный университет имени А.Н.Косыгина (Искусство. Дизайн. Технологии)", г. Москва

Федюков Максим Александрович, кандидат физико-математических наук, генеральный директор ООО "Texel", г. Москва, Сколково

Ведущая организация Институт сферы обслуживания и предпринимательства (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «**Донской государственный технический университет**», г. Шахты Ростовской области

Защита состоится 27 мая 2021 г. в 10 часов на заседании диссертационного совета Д 212.355.02 при ФГБОУ ВО «Ивановский государственный политехнический университет» по адресу: 153000 г. Иваново, Шереметевский пр., д. 21.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Ивановского государственного политехнического университета и на официальном сайте вуза <https://ds.ivgpi.com/dissertations/62>.

Автореферат разослан _____ апреля 2021 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
Д 212.355.02



Е.Н. Никифорова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследования. Исторический костюмный комплекс как объект культурного наследия может быть оценен в полном объеме только на человеческой фигуре, имеющей характерные антропометрические и иные имиджевые признаки того же времени. Разница между исторической одеждой, помещенной на манекене, и этой же моделью одежды, изображенной на картине или запечатленной на фотографии в виде системы "фигура-одежда", огромна по причине того, что объемно-пространственная форма будет результатом проявления разного количества факторов.

Современное состояние и возможности компьютерных технологий, применяемых для проектирования современной одежды, позволяют расширить область их использования и включить в нее те объекты дизайна, которые были получены ранее исключительно на основе некомпьютеризированных действий и ручного труда. В таких областях накоплен огромный опыт, который не формализован и окончательно не систематизирован, но который представляет огромный интерес для развития современного дизайна. Такой перспективной областью является реконструкция в виртуальной среде исторических костюмных комплексов (ИКК) как объектов художественного и инженерного творчества. Для развития этого направления существует несколько объективных причин: необходимость сохранения и широкого использования культурного наследия; сложности с материальной реконструкцией и экспонированием ИКК; частое обращение современных дизайнеров к ИКК как источнику творчества; важность сохранения национальной идентичности.

Перечисленные факторы могут быть реализованы за счет цифровизации и замены материальных костюмов их цифровыми двойниками (ЦД), что позволит повысить доступность исторического костюма для изучения, демонстрации и применения. Воссоздать ЦД ИКК можно с применением систем автоматизированного проектирования и компьютерно-графических пакетов, которые обладают инструментарием для выполнения всех этапов художественного и инженерного проектирования одежды в виртуальной среде. Виртуальная реконструкция ИКК – это генерирование (воссоздание) компьютерными средствами фотореалистичных ЦД систем "фигура – костюм" на основе сохранившихся изображений, описаний внешнего вида, художественно-конструкторских решений материальных артефактов (полных или фрагментарных).

Степень разработанности темы. Научные проблемы виртуальной реконструкции являются объектом исследования многих зарубежных ученых. **Kang** (Южная Корея) разработал цифровые копии исторических костюмов для создания виртуальных экспозиций. **N.Magnenat-Thalmann** и **P. Volino** (Switzerland) заложили принципиальные подходы к виртуальному прототипированию исторической одежды разных стилей согласно характеристикам текстильных материалов. В нашей стране такие

исследования выполняют **А.Ю. Москвин** и **М.В. Москвина** (СПбГУПТД) и ученые кафедры КШИ ИВГПУ. К настоящему времени разрабатываются научные, методологические и технологические основы виртуальной реконструкции ИКК, проводится активная работа по включению в состав музейных экспозиций ЦД. Заложенные в этих исследованиях базовые принципы реконструкции позволяют увеличить количество видов виртуальной одежды.

Однако широкому применению такого подхода мешает отсутствие систематизированной и параметризованной информации о конструктивном устройстве исторической одежды, которая является обязательным условием получения фотореалистичных цифровых двойников. Структура исторического гардероба представлена на уровне вербального описания без антропометрической "привязки" к морфологии фигуры. Непосредственное использование сохранившихся исторических чертежей сопряжено с большими проблемами ввиду полного отсутствия информации о размерной принадлежности, приемах конструктивного формообразования, заложенных конструктивных прибавках. Кроме того, степень формализации и глубина изучения мужского костюма значительно ниже, чем женского.

Слепая попытка изготовить по имеющимся чертежам исторической одежды (ЧИО) её копию и сформировать историческую систему не может считаться успешной при отсутствии утраченных знаний. Базы данных, необходимые для адекватной реконструкции ИКК, должны содержать информацию, с помощью которой будут раскрыты механизмы действия разных факторов и даны ответы на вопросы, относящиеся к условиям повторного проектирования и изготовления:

- на этапе *измерения* фигуры

1. Реконструировать значения размерных признаков и особенности морфологии фигуры, для которой был предназначен ЧИО.

2. Восстановить условия измерения размерных признаков.

- на этапе *конфекционирования* материалов

3. Реконструировать показатели свойств текстильных материалов.

- на этапе *формообразования* одежды

4. Воссоздать гардероб ИКК, а именно количество и виды одновременно носимой одежды.

5. Формализовать количественные признаки объемно-пространственной формы, которую приобретет одежда вокруг фигуры.

6. Восстановить критерии, с помощью которых оценивали качество посадки одежды на фигуре.

При отсутствии перечисленной информации сложно оценить правильность конструкторских решений и выбор типа фигуры. Поэтому реконструкции ИКК по имеющимся ЧИО должен предшествовать комплексный анализ всех перечисленных факторов.

Данное исследование позволит заложить научно обоснованные принципы виртуальных примерок исторической одежды и ввести в

культурный оборот утраченные исторические костюмы на основе их 2D изображений (картины, фотографии), количество которых неизмеримо больше по сравнению с сохранившимися материальными объектами. ЦД ИКК позволили бы не только экспонировать зрителю внешний вид одежды, но и увидеть внутреннее конструктивное устройство, сложное с инженерной точки зрения, и знание которого усилило бы полноценное восприятие ИКК. Использование цифровых реплик вместо материальных аналогов, подверженных старению, позволит в некоторых случаях сохранить натуральные текстильные материалы, исключить их повреждение и решить проблему музейных фондов, которые пока недоступны для зрителей ввиду ветхого или фрагментарного состояния экспонатов.

Работа выполнена на кафедре конструирования швейных изделий Ивановского государственного политехнического университета в рамках научного направления "Анализ и синтез материальных и виртуальных систем "фигура-одежда" в 2018-2020 гг. и двух международных проектов: "Разработка цифровых двойников исторического костюма с помощью технологий реверсивного инжиниринга" при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ и Партнерской программы Юбера Кюрьена - А.Н. Колмогорова с участием Университета Верхнего Эльзаса, Франция (уникальный идентификатор проекта: RFMEFI61619X0113); "Виртуальная реконструкция исторических костюмов России и Словении" при поддержке Агентства научных исследований Словении с участием Университета Марибор (номер проекта VI-RU/19-20-023).

Работа выполнена в соответствии с пунктами паспорта ВАК научной специальности 05.19.04 – Технология швейных изделий (технические науки):
2. Совершенствование процесса и методов проектирования одежды на основе использования рациональной размерной типологии населения, требований ЕСКД и широкого применения современной вычислительной техники.
5 Совершенствование методов оценки качества и проектирование одежды с заданными потребительскими и технико-экономическими показателями.
12. Разработка методов получения оптимальных технологических решений применительно к одежде разнообразного ассортимента, обеспечивающих применение современной технологии, рациональное использование оборудования и др..

Целью работы является создание методики получения реалистичных цифровых двойников мужских исторических костюмных комплексов, представленных в виде сохранившихся раритетов или их изображений, на основе технологии реверсивного инжиниринга и аппаратно-программного комплекса.

Основные задачи работы. Для достижения цели необходимо решить следующие задачи:

1. Сформировать базу данных о структуре мужского гардероба и применявшихся для его изготовления текстильных материалах конца XIX – середины XX в.

2. Изучить приемы формообразования, использовавшиеся для получения объемно-пространственной формы исторической одежды при ее проектировании и производстве.

3. Провести антропометрические исследования современных мужских фигур для формирования базы данных, необходимой для генерирования цифровых двойников мужских модных исторических фигур.

4. Разработать алгоритмы генерирования виртуального двойника исторической мужской фигуры, нахождения толщины пакета материалов носимой одежды и величин конструктивных прибавок к размерным признакам фигур.

5. Разработать методику параметризации, графоаналитического анализа и идентификации размерного варианта чертежей исторической одежды.

6. Разработать алгоритм адаптации ЧИО к антропоморфным особенностям современных фигур.

7. Разработать технологию получения виртуальных двойников исторических костюмных комплексов на основе сохранившихся материальных прототипов или их изображений.

8. Выполнить экспериментальную проверку разработанных методик при материальной и виртуальной реконструкции следующих видов мужской одежды: парадный мундир российского профессора XIX века, русская народная рубаха XIX века, европейское повседневное пальто конца XIX – начала XX в., словенский костюм молодежного движения "Соколы" первой половины XX в.

Объекты исследования – мужские исторические костюмные комплексы, процесс проектирования мужской одежды.

Предмет исследования – размерные признаки торса мужской фигуры, показатели свойств тканей, конструктивные параметры исторических чертежей.

Методы и средства исследования. Для исследования отдельных элементов и всей системы "мужская фигура – историческая одежда" использовали метод реверсивного инжиниринга, метод аналитической реконструкции исторической одежды, бесконтактный метод измерения мужских фигур и толщины текстильных материалов, методы генерирования многослойных виртуальных объектов.

Для проведения экспериментальных исследований был сформирован аппаратно-программный комплекс под условным названием "Цифровая реплика исторической одежды", обеспечивающий генерирование и передачу цифровой информации, получаемой на каждом этапе исследований, в который вошли четыре компонента: 1) лазерный бесконтактный 3D бодисканер VITUS Smart XXL для получения сканатаров мужских фигур согласно стандарту ISO 20685-2010(E); 2) программа Anthroscan (Human Solutions, Германия) для обработки антропометрической информации; 3) САПР (BUYI Technology, Китай) для оцифровывания исторических чертежей; 4) компьютерная

программа CLO 3D, версия 5.0.156.38765 (CLO Virtual Fashion, Республика Корея), для генерирования статичных и динамичных виртуальных объектов.

Статистическую обработку результатов измерений проводили с помощью программы SPSS (IBM, США).

Научная новизна работы состоит в разработке совокупности методик реконструкции аватаров фигур, конструктивного устройства и приемов формообразования, необходимых и достаточных для генерирования цифровых двойников исторических костюмных комплексов.

Положения, выносимые на защиту:

1. Закономерности формирования модных мужских исторических фигур под влиянием корсета.

2. Методика идентификации размерной принадлежности и запроектированных конструктивно-технологических приемов в исторических чертежах мужской плечевой одежды.

3. Методика бесконтактного измерения в виртуальной среде толщины пакета текстильных материалов, принадлежащих одновременно носимым нескольким видам одежды.

4. Алгоритм пересчета конструктивных прибавок, содержащихся в исторических чертежах, для реконструкции исторических костюмных комплексов с учетом типологии современных фигур.

Практическая значимость работы состоит в формировании новых баз данных, методики идентификации размерной принадлежности исторического чертежа, измерения толщины пакета материалов одежды с помощью программ трехмерного моделирования. Разработан алгоритм модификации костюмных комплексов к типологии современных фигур. Результаты работы прошли проверку путем виртуальной реконструкции трех комплексов из разных материалов, отличающихся конструктивным устройством и разными показателями объемно-пространственной формы. Получен патент на промышленный образец № 123089 "Мундир для торжественных случаев" (заявка № 2019505136 от 18.11.2019).

Теоретическая значимость состоит в установленных закономерностях преобразования материальных исторических костюмных комплексов и их изображений в виртуальные двойники систем "мужская фигура-одежда".

Достоверность результатов подтверждена идентичностью внешнего вида исторических костюмных комплексов и их виртуальных двойников благодаря применению двух групп информации: первой – полученной после аналитических исследований 70 практических руководств по конструированию исторической мужской одежды, 17 исторических изданий по текстильному материаловедению, второй – полученной после графоаналитического анализа 47 конструкций мужских пальто, бесконтактных антропометрических исследований 41 мужской фигуры, испытаний 16 современных тканей, виртуальных экспериментов. Проверка обеих групп информации проведена во время виртуальной реконструкции четырех видов исторических костюмных комплексов, отличающихся

конструктивным устройством, объемно-силуэтной формой и приемами формообразования.

Апробация работы. Основные результаты исследования докладывались и обсуждались на следующих конференциях: 17th World Textile Conference AUTEX 2017- "Textiles – Shaping the Future", 21-23 июня 2017 года (**Корфу, Греция**); XXIV Международная научно-техническая конференция "Информационная среда вуза", 22-23 ноября 2017 года (**ИВГПУ, Иваново**); Aegean International Textile and Advanced Engineering Conference (AITAE 2018), 5-7 сентября 2018 (**Mytilene, Greece**); Всероссийская (с международным участием) молодёжная научно-техническая конференция "Молодые ученые – развитию национальной технологической инициативы" (ПОИСК 2019), 24-26 апрель 2019 года (**ИВГПУ, Иваново**); XXII Международный научно-практический форум "Физика волокнистых материалов", 25-27 сентября 2019 (**ИВГПУ, Иваново**); 2019 3rd International Conference on Advanced Education and Management Science AEMS2019, 24-25 ноябрь 2019 года (**Пекин, Китай**); 6th ICAET 2020 International Conference on Advanced Engineering and Technology, 13-15 декабря 2019 года (**Инчхон, Южная Корея**); национальная молодёжная научно-техническая конференция "Молодые ученые – развитию национальной технологической инициативы" (ПОИСК-2020), 22-24 апрель 2020 года (**ИВГПУ, Иваново**); международная конференция "Техника, технологии и образование" (International Conference on Technics, Technologies and Education) ICTTE 2020, 5-6 ноября 2020 г. (**Ямбол, Болгария**).

Материальные и виртуальные объекты, полученные в ходе выполнения диссертационной работы, были продемонстрированы на Всероссийском конкурсе молодых дизайнеров "Мода 4.0", декабрь 2018 (**Иваново**); выставке "Историческая реконструкция. Промышленный дизайн одежды. Цифровые технологии в моде", 27-28 ноября 2019 года, [Министерство науки и высшего образования Российской Федерации](#), (**Москва**). В коллаборации с Университетом Марибора и Музеем Национального освобождения выполнена реконструкция мужской униформы 1937 г. (**Марибор, Словения**), а с Гаврилово-Посадским краеведческим музеем - реконструкция мужской рубахи конца XIX века (**Ивановская область, Гаврилов-Посад**). Аналитическая реконструкция профессорского мундира заняла первое место в номинации "Костюм" на конкурсе [#Узнай](#) Россию. Донское слово в рамках II Международного конгресса волонтеров культуры и медиа (**Ростов-на-Дону, 2020**).

Основные результаты работы опубликованы в 12 печатных работах, из них две статьи в журнале "Известия вузов. Технология текстильной промышленности", входящем в перечень ВАК, четыре статьи в зарубежных изданиях, индексируемых в международных цитатно-аналитических базах данных Web of Science и Scopus, пять материалов конференций и форумов различных уровней, один патент на промышленный образец.

Структура диссертационной работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы и приложений. Содержание работы изложено на 220 страницах машинописного текста, включая 87 рисунков и 35 таблиц. Список использованных источников насчитывает 168 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ

Во **введении** обосновывается актуальность и степень научно-теоретической разработанности проблемы; сформулированы цели и задачи исследования, приведена характеристика методов и средств исследования, сформулированы выносимые на защиту положения, раскрыты научная новизна, теоретическая и практическая значимость диссертации, представлена ее структура.

В **первой главе "Степень разработанности проблемы по виртуальной реконструкции исторической мужской одежды"** проведен анализ следующих аспектов современного состояния технологий получения ЦД ИКК (полученные результаты опубликованы в двух работах): сценарные технологии получения 3D исторических объектов по их 2D изображениям, базы данных, используемые для генерирования ЦД ИКК; размерные признаки исторических мужских фигур; программное обеспечение и технические средства.

Сформированы цель и задачи исследования, составлен алгоритм исследования.

Вторая глава "Разработка базы данных о фигурах и текстильных материалах для виртуальной реконструкции" посвящена исследованиям мужских фигур, текстильных материалов, гардероба одежды и приемов ее формообразования в XIX в. (полученные результаты опубликованы в двух работах).

Первая антропометрическая база данных "Мужские фигуры" получена после проведения антропометрических измерений мужских фигур, позволивших определить влияние исторического корсета на изменение пластики фигур. Для исследования компрессионного влияния корсета на пластику мужских фигур было измерено 48 молодых людей (средний полный возраст 22 года) с помощью бодисканера Human Solutions (Германия). База данных включает сечения груди, талии и бедер, их диаметры, величины изменений положения корпуса под компрессионным влиянием корсетов. На **рис. 1** в качестве примера влияния корсета на пластику показаны совмещенные абрисы сканированных фигур, ориентированные относительно вертикальной плоскости, параллельной осевой линии через центр тяжести, на выбранных расстояниях 1, 2, 3 от вертикальной плоскости соответственно на уровнях груди, талии и бедер.

Сформированная антропоморфная база данных, включающая величины изменения размерных признаков под влиянием корсета, была проверена путем построения ЦД в программе CLO 4.1.

Вторая конструктивная база данных "Гардероб" получена на основе изучения 70 исторических изданий по конструированию мужской одежды и содержит особенности конструктивных решений чертежей. Был проведен сравнительный анализ исторических и современных размерных шкал для установления различий между ними.

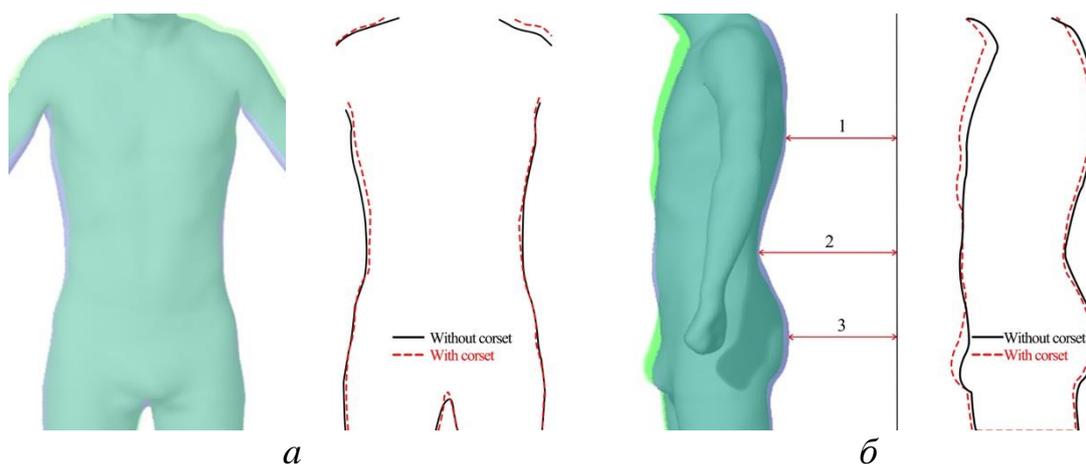


Рис.1 – Совмещенные контуры мужской фигуры, сканированной без корсета и в корсете, и показывающие изменение пластики на видах спереди (а) и сзади (б)

На основе анализа европейского гардероба (1850...1920 гг.) и реальных ИКК была определена его структура. Внешний вид выбранного объекта исследования показан на **рис. 2, а**. Расположение слоев одежды – белья, сорочки, брюк, жилета и пальто – на фигуре показано на **рис. 2, б**.

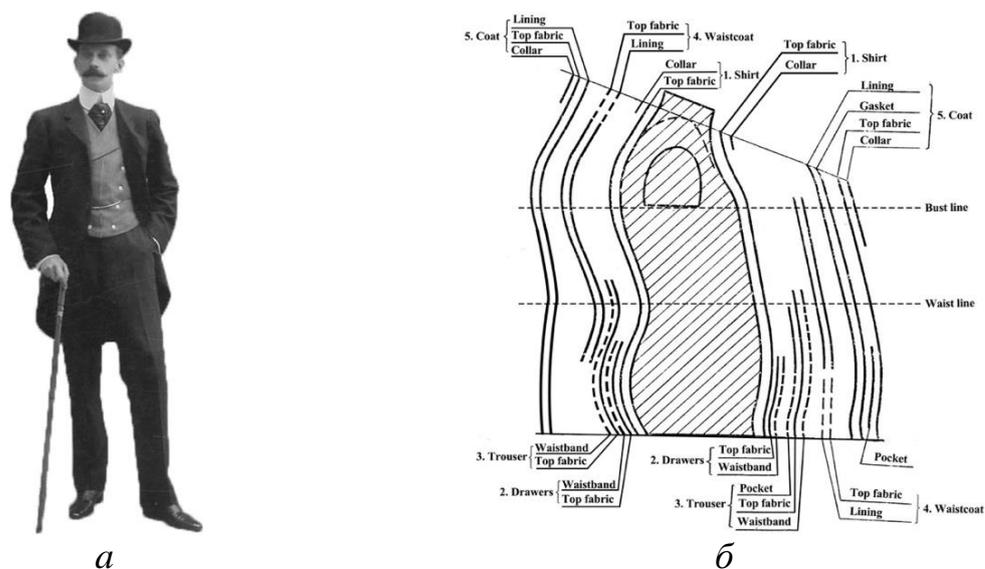


Рис. 2 – Внешний вид мужского ИКК (а) и его графическая структура в 1895-1915 гг. (б)

Третья текстильная база данных "Ткани" включает информацию об исторических текстильных материалах. Чтобы воспроизвести в виртуальной среде фактуру исторического материала с максимальной реалистичностью, необходима подробная информация об их особенностях, поскольку в 3D САПР для генерирования ЦД требуется количественная информация о жесткости, способности у изгибу, линейной плотности и др.

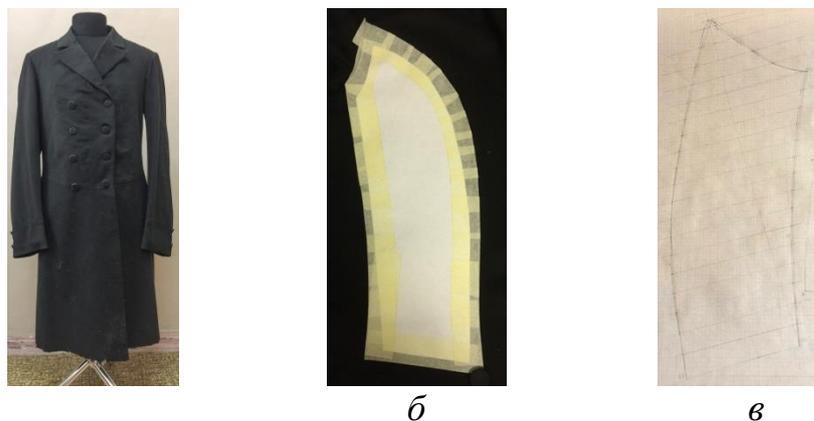
Четвертая база данных "Формообразование" была сформирована по опубликованным источникам, чертежам конструкций и сохранившимся костюмам. Необходимость ее формирования вызвана разнообразием приемов конструирования, методов изготовления и особых портновских приемов формования, утраченных к настоящему времени. В базу входят результаты параметризации 47 чертежей в виде 1752 параметров. Остальные особенности были изучены по сохранившимся костюмам.

Таким образом, сформированные базы данных стали методологической основой для генерирования ЦД ИКК.

Третья глава "Методики идентификации размерной принадлежности и запроектированных конструктивно-технологических приемов в исторических чертежах" посвящена разработке методик параметрического описания чертежей мужской одежды (полученные результаты опубликованы в двух работах).

Методика идентификации размерного варианта фигуры, для которой был разработан исторический чертеж, включает получение развертки торса, количественное определение приемов формообразования и выбор ближайшей фигуры.

В работе использован метод получения разверток исторической одежды, включающий использование полосок бумаги на клеевой основе с последующим их переносом с деталей одежды на плоскость. На **рис. 3** показаны фрагменты получения разверток с помощью полосок для детализации контуров (рукав).



a

Рис. 3 – Мужское пальто XIX века (*a*), предварительная развертка отрезного бочка, полученная с помощью полосок клеевой бумаги (*б*), и окончательная развертка после проверки с помощью усредненных результатов прямых измерений (*в*)

В работе предложен метод последовательного приближения к истинному росту на основе размерного признака "Длина спины до талии" и производных от него.

Величины приемов конструктивно-технологического формообразования зависят от приемов конструирования, влажно-тепловой обработки и пошива, которые однозначно описать в настоящее время довольно сложно. Например, влажно-тепловая обработка с помощью утюга требовала принудительного удлинения и укорочения срезов в соответствии с морфологией модной исторической фигуры. **Рис. 4, а** показывает участки формования мужского пальто. На **рис. 4, б, в** показаны примеры измерения чертежей конструкций для последующего вычисления величин деформаций и конструктивных прибавок.

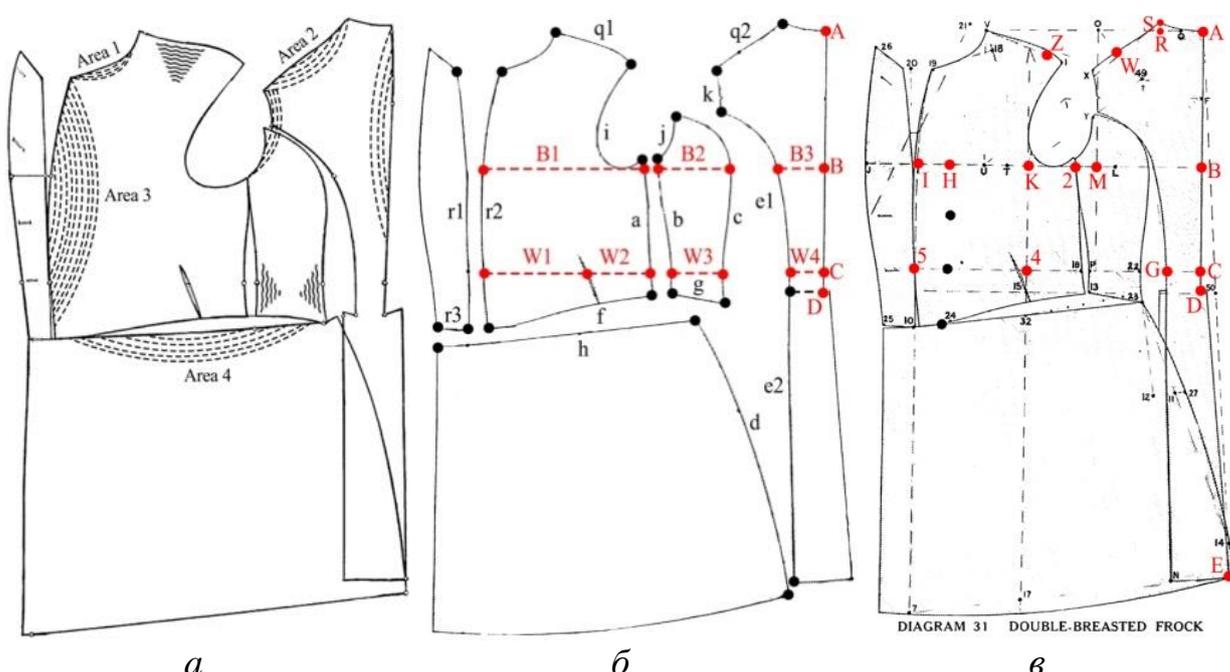


Рис.4 – Участки принудительной деформации деталей мужского пальто (*а*) и примеры параметризации величин деформаций, запроектированных в чертежах конструкций (*б, в*)

После анализа виртуальных систем получены уравнения для параметрического описания и построения чертежей.

Предложен метод корректировки исторических прибавок, основанный на их перерасчете для нового размерного варианта фигуры. Для его расчета необходимо знать размерные варианты исторической и современной фигур, рекомендуемые конструктивные прибавки из исторических руководств и коэффициент, учитывающий различия в измерениях одних и тех же размерных признаков. Этот коэффициент может быть рассчитан по формуле

$$k = \Delta / \text{РП}_h,$$

где k – коэффициент, характеризующий количественные различия в измерениях одних и тех же размерных признаков по разным

антропометрическим программам; Δ – разница между размерными признаками, измеренными по историческим и современным антропометрическим программам; $РП_n$ – значение размерного признака исторической фигуры, см.

Для генерирования реалистичных цифровых двойников разработана методика бесконтактного измерения суммарной толщины пакета материалов в виртуальной среде, из которых изготовлены все носимые виды, имитирующая измерения мужской фигуры сантиметровой лентой в 19 в. Результат измерения включает в себя толщины материалов, воздушные прослойки и складки.

Четвертая глава "Технология генерирования цифровых двойников исторической одежды с помощью реверсивного инжиниринга" посвящена разработке методологии генерирования ЦД ИКК на основе реверсивного инжиниринга (полученные результаты опубликованы в двух работах).

Основу технологии составляют описанные в предыдущих главах и используемые последовательно результаты на этапах преобразования ИКК в его ЦД:

- графические структуры одновременно носимой мужской одежды конца XIX – первой половины XX в. для исторических костюмных комплексов разного назначения;
- конструктивные прибавки для формообразования мужских исторических пальто конца XIX – начала XX в.,
- антропометрические данные об исторической модной мужской фигуре, деформированной корсетом;
- методика идентификации размерной принадлежности и скрытых запроектированных конструктивно-технологических приемов в исторических чертежах мужской плечевой одежды;
- методика генерирования аватаров фигур с помощью размерных признаков, вычисленных по чертежам конструкций;
- методика бесконтактного измерения в виртуальной среде толщины пакета текстильных материалов, принадлежащих одновременно носимым нескольким видам одежды, с учетом воздушных прослоек между ними;
- алгоритм перерасчета конструктивных прибавок, запроектированных в исторических чертежах, в аналогичные прибавки для построения чертежей на современные фигуры.

Технология основана на использовании ЦД всех элементов – фигуры, текстильного материала и конструктивного устройства ИКК. В зависимости от исходного объекта алгоритм их генерирования может быть разным и зависящим от доступных исходных данных. В качестве примера на **рис. 5** показаны виды информации, которая может быть использована для виртуальной реконструкции исторического аватара.

Сформулированы условия для оценки точности реконструкции ИКК.

Пятая глава "Экспериментальная проверка разработанной технологии получения цифровых двойников исторических костюмных

комплексов" посвящена материальной и виртуальной реконструкции нескольких видов исторической одежды из разного числа материалов и нижележащих слоев одежды (полученные результаты опубликованы в двух работах).

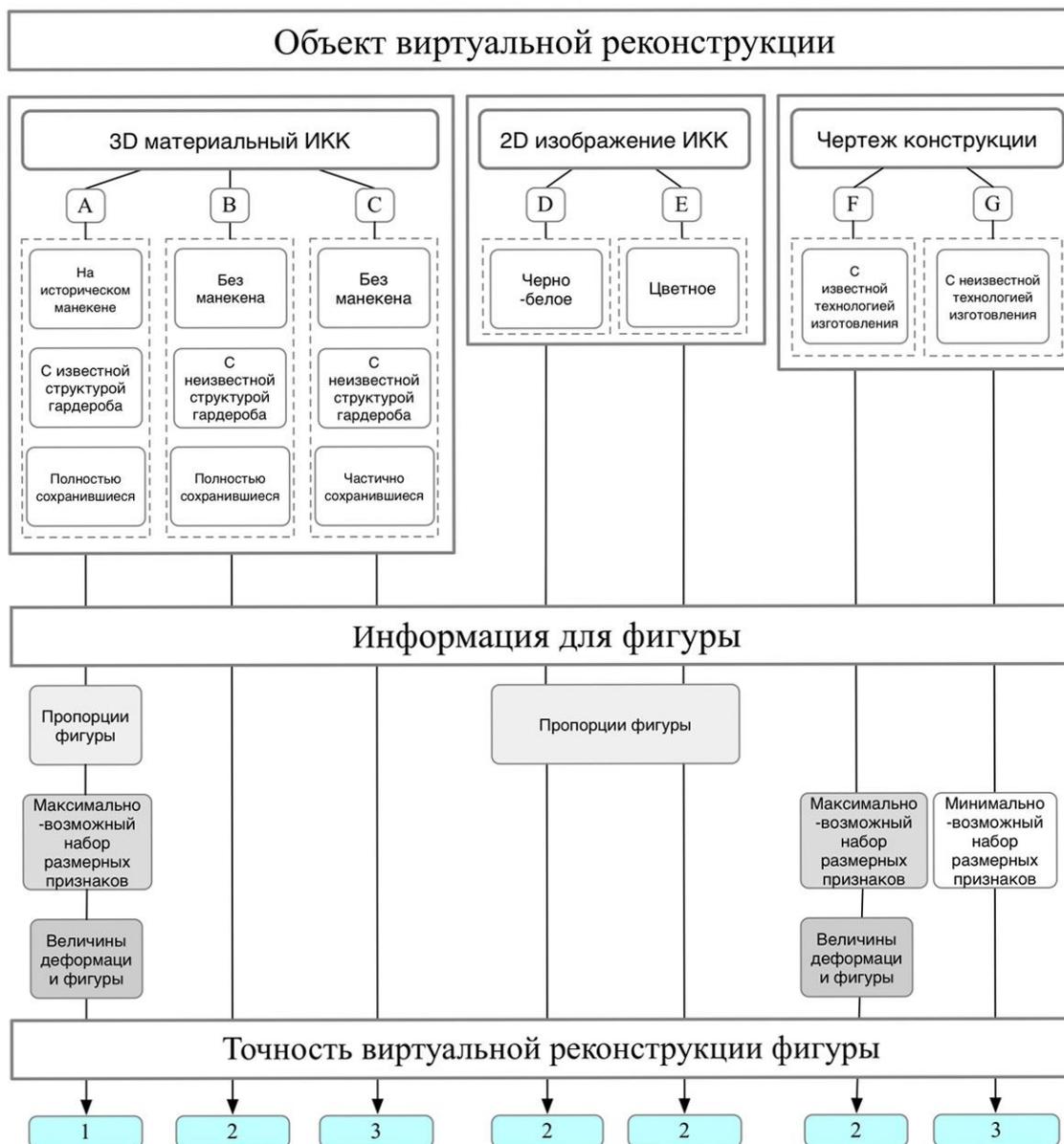


Рис. 5 - Виды информация A,B,C,D,E,F,G для генерирования ЦД исторической фигуры

Первым объектом виртуальной реконструкции стал профессорский мундир, который являлся униформой в университетах царской России. После анализа фотографического и живописного материала разработаны современные аналоги (патент № 123089 на промышленный образец "Мундир для торжественных случаев") и сгенерированы их виртуальные копии. На **рис. 6** представлены варианты профессорских мундиров.

Вторым объектом виртуальной реконструкции стал однослойный существующий словенский мужской костюм 1937 г. движения "Соколы" из Музея национального освобождения, г. Марибор, Словения. На **рис. 7**

последовательно показаны этапы работы по реконструкции чертежей и генерированию цифрового двойника.



Рис. 7 – 3D цифровые двойники профессорских мундиров, разработанные на основе исторических прототипов XIX века



Рис. 8 – Исходный словенский костюм 1937 г.(а), реконструированные чертежи всех деталей из основного материала (б), расположение деталей костюма вокруг аватар во время виртуального шивания (в) и цифровой двойник (z)

Третьим объектом виртуальной реконструкции стала двухслойная существующая мужская рубашка на подкладке конца XIX века из фондов Гаврилово-Посадского краеведческого музея, Ивановская область, показанная

на **рис. 8, а**. После изучения и реконструкции пакета материалов, конструктивного устройства, художественных особенностей, технологии сборки были разработаны в САПР чертежи, а с помощью 3D CLO получены варианты цифровых двойников с последующим выбором наиболее адекватного историческому прототипу (**рис. 8, в**).



Рис. 8 - Мужская рубашка конца XIX века с лицевой и изнаночной стороны (*а*) и ее виртуальные двойники: вариант, полученный только по реконструированным чертежам без учета использованных приемов формообразования и пакета материалов (*б*), и вариант с полным учетом всех особенностей (*в*)

Четвертым объектом виртуальной реконструкции стало многослойное пальто на подкладке и с прокладочными материалами конца XIX века из фондов кафедры КШИ ИВГПУ, под которым был собран весь комплект нижележащей одежды (верхнее и нижнее белье, сорочка, брюки, жилет). При его реконструкции использованы сведения о пакете материалов, приемах формообразования, расположении участков сутюживания и оттягивания. Результат реконструкции показан на **рис. 9**.



Рис. 9 – Фотография пальто XIX в. (*а*) и его виртуальные двойники: без учета приемов технологического формообразования (*б*), с учетом приемов технологического формообразования (*в*) и совмещенные контуры исторического пальто и двойников (*г*): пунктирная линия – без учета приемов технологического формообразования, сплошная линия – с учетом приемов технологического формообразования

Из **рис. 9** видно, что совпадение контуров является очень высоким, что свидетельствует о правильности сформулированного подхода.

Таким образом, поставленная в работе цель достигнута.

ИТОГИ ВЫПОЛНЕННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

1. Разработана технология генерирования цифровых двойников исторической мужской одежды с помощью реверсивного инжиниринга, включающая совокупность методик идентификации размерного варианта фигуры по историческому чертежу мужской одежды, бесконтактному измерению толщины пакета материалов в виртуальной среде и параметризации запроектованных конструктивно-технологических приемов формообразования одежды и новых баз данных относительно антропоморфных особенностей мужских исторических фигур и конструктивных прибавок.

2. Разработан алгоритм получения реалистичных цифровых двойников костюмных комплексов "мужская фигура - исторический костюм" на основе сохранившихся материальных аналогов и их изображений с использованием сформированного аппаратно-программного комплекса.

3. Разработаны базы данных, необходимые для воссоздания цифрового двойника исторического костюмного комплекса "мужская фигура – одежда": "Мужские фигуры", "Гардероб", "Ткани", "Формообразование", которые использовались для формирования мужского гардероба XIX в.

4. Разработана методика выбора пакета текстильных материалов для исторических мужских костюмных комплексов на основе опубликованных материалов и прототипов одежды для достижения подобия между генерируемыми цифровыми двойниками и их материальными прототипами.

5. Разработана методика бесконтактного измерения толщины пакета материалов одновременно носимой одежды в виртуальной среде, воспроизводящая условия контактного измерения размерных признаков мужских фигур в XIX в.

6. Сформирована база данных о конструктивных прибавках к размерным признакам, использовавшихся для построения исторических чертежей пальто, и предложен алгоритм их пересчета при реконструкции пальто на современные фигуры других размерных вариантов.

7. Выполнена материальная и виртуальная реконструкции следующих видов мужской исторической одежды XIX и XX вв.: мундира российского профессора, повседневного пальто, словенского костюма 1937 г. молодежного движения "Соколы", русской рубахи, которые подтвердили правильность полученных результатов, алгоритмов методик и баз данных.

РЕКОМЕНДАЦИИ, ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ

1. Результаты, полученные при выполнении диссертационной работы, могут быть использованы следующим образом:

- в образовательном процессе высших и средних учебных заведений при изучении истории костюма и конструирования мужской одежды,
- при разработке исторических костюмов для театральных постановок и кинофильмов;
- в качестве ресурса и источника творчества для современных дизайнеров;
- в качестве ресурсов для социологов, антропологов и историков;
- в концепциях онлайн– музеев;
- в сохранении материального культурного наследия.

2. В дальнейших исследованиях необходимо использовать другие ИКК для формирования более полной базы для генерирования цифровых двойников.

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

статьи в изданиях, входящих в перечень ВАК при Минобрнауки РФ:

1. Чжан, Ш. [Получение цифровых двойников мужских фигур по изображениям и чертежам конструкций исторической одежды](#)/ Ш.Чжан, В.Е.Кузьмичев // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. – 2019. – № 2(380). – С.106–113 (0.5/0.25 п.л.)

2. Кузьмичев, В.Е. [Проектирование цифровых двойников исторических систем "фигура - костюм"](#) / В.Е.Кузьмичев, Н.А.Сахарова, Ш.Чжан [и др.] // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. – 2019. – № 6(384). – С. 9-15 (0.5/0.071 п.л.)

статьи в изданиях, индексируемых в международных цитатно-аналитических базах данных Web of Science и Scopus

3. Янь, Ц. New database for improving virtual system “body-dress” (Новая база данных для совершенствования виртуальных систем "фигура-платье") / Ц.Янь, В.Е.Кузьмичев, Ш.Чжан [и др.] // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering: 17th World Textile Conference AUTEX 2017- Textiles - Shaping the Future / volume 254, 2017, 172029. doi:10.1088/1757-899X/254/17/172029 (0.375/0.094 п.л.)

4. Чжан, Ш. Calculation of the body measurements after analyzing the historical pattern block (Вычисление размерных признаков фигуры на основе анализа исторических чертежей конструкций) / Ш.Чжан, В.Е.Кузьмичев // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, 459 (2019): 012087. Conference: Aegean International Textile and Advanced Engineering Conference (AITAE 2018). doi:10.1088/1757-899X/459/1/012087 (0.313/0.156 п.л.)

5. Чжан, Ш. A method of selection the textile materials for virtual reconstruction (Метод выбора текстильных материалов для виртуальной реконструкции) / Ш.Чжан, В.Е.Кузьмичев // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, 811 (2020): 012008. Conference: International Conference on

Advanced Engineering and Technology (ICAET 2019). doi: 10.1088/1757-899X/811/1/012008 (0.313/0.156 п.л.)

6. Чжан, Ш. Method of historical patterns analyzing (Метод анализа исторических чертежей) / Ш.Чжан, В.Е.Кузьмичев // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. International Conference on Technics, Technologies and Education, volume 1031, 2021, 012038. (ICTTE 2020) (0.313/0.156 п.л.)

публикации в сборниках трудов, материалах конференций и других изданиях

7. Чжан, Ш. Retrospective Analysis of European Men's Suit from 1850s to 1920s for Virtual Reconstruction (Ретроспективный анализ европейского мужского костюма с 1850 по 1920 г. для целей виртуальной реконструкции) / Ш.Чжан, В.Е.Кузьмичев // 3rd International Conference on Advanced Education and Management Science (AEMS 2019). volume Part 2, с. 239-243. doi: 10.12783/dtssehs/aems2019/33551 (0.313/0.156 п.л.)

8. Чжан, Ш. Виртуальный сценарий адаптации исторической одежды / Ш.Чжан, В.Е.Кузьмичев, А.Ю.Москвин // Информационная среда вуза: материалы XXIV Междунар. науч.-техн. конф. 22-23 ноября 2017 г. Иваново: ИВГПУ. – С.160-164 (0.313/0.104 п.л.)

9. Чжан, Ш. Новый подход к симуляции исторического мужского пальто / Ш.Чжан, В.Е.Кузьмичев // Молодые ученые - развитию национальной технологической инициативы (ПОИСК- 2019). Ч.1: сб. материалов всерос. (с международным участием) молодёж. науч.-техн. конф. - Иваново: ИВГПУ, 2019. – С.137-140 (0.25/0.125 п.л.)

10. Чжан, Ш. Проблемы генерирования цифровых двойников исторических костюмов с помощью технологии реверсивного инжиниринга / Ш.Чжан, А.Ю.Москвин, В.Е.Кузьмичев, Д.С.Адольф // Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы: сб. материалов XXII Междунар. науч.-практ. форума. – Иваново: ИВГПУ, 2019. – С.59-65 (0.438/0.109 п.л.)

11. Чжан, Ш. Виртуальная реплика мужской народной рубашки конца XIX века (из фондов Гаврилово-Посадского музея) / Ш.Чжан, В.Е.Кузьмичев. // Молодые ученые – развитию нац. техн. инициативы (ПОИСК- 2020). Ч. 1: материалы нац. молодёжной науч.-техн. конф. – Иваново: ИВГПУ. – С.714-716 (0.188/0.009 п.л.)

объекты интеллектуальной собственности

12. пат. 123089 Российская Федерация. Мундир для торжественных случаев: / Е.В.Румянцев, В.Е.Кузьмичев, Т.Н.Грищенко, Ч.Шичао ; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО Иван. гос. политехн. ун-т. — № 2019505136 ; заявл. 18.11.2019 ; опубл. 17.12.2020.

Подписано в печать 18.03.2021
Формат 1/16 60x84.
Бумага писчая. Плоская печать.
Усл.печ.л. 1,16. Уч.-изд.л. 1,0. Тираж 80 экз. Заказ №
ФГБОУ ВО "Ивановский государственный политехнический университет"
Редакционно-издательский отдел УИРиК
153000, г. Иваново, Шереметевский пр., 21