

На правах рукописи

万斯达

Ван Сида

**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ВИРТУАЛЬНОГО
ПРОЕКТИРОВАНИЯ УЗЛА "ПРОЙМА-РУКАВ"
ЖЕНСКИХ ЖАКЕТОВ**

Научная специальность

05.19.04 –Технология швейной промышленности

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Иваново – 2022

Работа выполнена на кафедре конструирования швейных изделий Института текстильной индустрии и моды ФГБОУ ВО «Ивановский государственный политехнический университет».

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

Официальные оппоненты **Черунова Ирина Викторовна**, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры дизайна, конструирования и технологии одежды, Институт сферы обслуживания и предпринимательства (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «**Донской государственный технический университет**» в г. Шахты Ростовской области, г. Шахты

Коробцева Надежда Алексеевна, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры информационных технологий и компьютерного дизайна ФГБОУ ВО "**Российский государственный университет имени А.Н.Косыгина**", г. Москва

Ведущая организация ФГБОУ ВО «**Владивостокский государственный университет экономики и сервиса**», г. Владивосток

Защита состоится 06.10.2022 в 11.00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.355.02 на базе ФГБОУ ВО «Ивановский государственный политехнический университет»: 153000 г. Иваново, Шереметевский пр., д. 21.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте Ивановского государственного политехнического университета: ivgpi.ru.

Автореферат разослан «___» _____ 2022 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Никифорова
Елена Николаевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Цифровизация процессов создания новых моделей одежды потребовала дополнительного изучения и наполнения новыми сведениями содержания традиционных методов конструирования и конструктивного моделирования. Виртуальное "сшивание" деталей одежды происходит с участием двух линий, которые могут быть разделены на несколько групп: незамкнутые или замкнутые, прямолинейные или криволинейные, укладываемые на плоскости или не укладываемые на плоскости. Соединение двух криволинейных замкнутых линий имеет место при втачивании рукава в пройму и является самым сложным как с позиций проектирования, так и достижения запроктированных показателей внешнего вида и качества посадки рукава. Именно узел "пройма-рукав" во многих видах классической одежды (пиджак, жакет, пальто) является индикатором качества проектирования и одновременно источником появления дефектов посадки.

Виртуальное моделирование процесса соединения рукава требует изучения многих факторов, под влиянием которых будет обеспечено необходимое объемно-пространственное положение рукава в пройме.

Выпукло-вогнутую линию оката и вогнутую линию проймы первоначально проектируют на плоскости, конфигурацию которых можно описать разными уравнениями с набором количественно вычисляемых и измеряемых параметров. После переноса из декартовых координат в трехмерное пространство линии изменяют свою конфигурацию и приобретают примерно одинаковую форму под действием сложно-направленного силового поля. Для математического моделирования проймы необходима параметризация многих факторов: показателей объемно-пространственной формы стана и проймы; величин прибавок по линии груди, влияющих на разворот плоскости проймы; показателей жесткости пакета материалов; кривизны исходных линий; показателей анизотропности свойств материалов, поскольку вдоль шва проймы возможны следующие комбинации: уток + уток (в самом широком месте рукава), основа + основа (под проймой), основа + уток (в высшей точке плечевого шва). Очевидно, что полная модель должна быть многофакторной. Специальные программные модули в 3D САПР позволяют учесть некоторые факторы, относящиеся к толщине и жесткости тканей, параметрам плоских чертежей, особенностям морфологии фигур, способам формообразования.

Степень разработанности темы. Исследованием узла "пройма - рукав" занимались исследователи ИВГПУ (М.Р.Смирнова, ЧенЧжэ, Ло Юнь, Н.М.Кочанова), РГУ имени АН.Косыгина (Е.Г.Андреева, И.А.Петросова, В.В.Гетманцева, Н.А.Коробцева, И.Н.Тюрин), ДГТУ (И.В.Черунова), Хёнсук Хан, Ли, ИеЧжин До, Воль-Хи (Япония) и другие ученые.

Однако, успешное развитие этого направления требует дальнейшей формализации профессиональных знаний в областях плоскостного

конструировании и объективной квалиметрии виртуальных объектов. К сожалению, полные базы данных, знаний и правил пока не сформированы ввиду отсутствия единого подхода к процессам плоскостного и трехмерного проектирования. Существующие 3 САПР не имеют достаточного количества функций для проверки рукавов и проймы и не позволяют идентифицировать причины появления конструктивных дефектов. Поэтому развитие этого научного направления по разработке новой технологии проектирования в виртуальной среде является актуальным с позиций дальнейшего развития и улучшения результатов цифрового дизайна.

Работа выполнена в 2017-2022 гг. на кафедре конструирования швейных изделий ИВГПУ в рамках основного научного направления "**Анализ и синтез материальных и виртуальных систем "фигура-одежда"**", по грантам исследовательского фонда политехнического института Хьюань № 2017kj06 (Китай) и Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ) и Ивановской области "**Разработка фундаментальных основ виртуального проектирования цифровых двойников системы «фигура человека - одежда» с применением нейropsихологических технологий и реверсивной инженерии**", № 20-47-370006.

Работа выполнена в соответствии с пунктами паспорта ВАК научной специальности 05.19.04 – Технология швейных изделий (технические науки): пункт 3 «Разработка математического и информационного обеспечения систем автоматизированного проектирования одежды», пункт 5 «Совершенствование методов оценки качества и проектирование одежды с заданными потребительскими и технико-экономическими показателями».

Целью исследования является разработка баз данных, знаний и правил, необходимых для переноса процесса проектирования узла "пройма-рукав" с заданными показателями внешнего вида в виртуальную среду.

Для достижения цели необходимо решить **следующие задачи**:

1. Провести графоаналитические исследования чертежей женских жакетов с разными показателями качества для формирования базы данных влияния их конструктивных параметров на внешний вид виртуальных рукавов.
2. Разработать геометрические плоскостную и пространственную модели узла "пройма-рукав" для согласования координат сопрягаемых линий проймы и рукава.
3. Разработать метод и критерии для объективной оценки качества внешнего вида виртуальных рукавов женских жакетов.
4. Исследовать причины возникновения дефектов на виртуальных рукавах под влиянием конструктивных параметров.
5. Разработать алгоритм проектирования узла "пройма-рукав" женских жакетов в виртуальной среде с прогнозированием дефектов внешнего вида рукава.
6. Разработать модуль в среде Python для автоматического выбора сочетаний конструктивных параметров и исключения появления дефектов.

7. Провести корреляционный анализ между показателями посадки для рукава.

8. Разработать алгоритм оценки и прогнозирования дефектов с помощью шкалы серого цвета.

9. Исследовать давление, возникающее под жакетами в системе "фигура - жакет", с позиций достаточности конструктивных прибавок.

10. Провести проверку полученных результатов

Объект исследования – женские фигуры, жакеты с разной объемно-пространственной формой.

Предмет исследования – конструктивные параметры плоских чертежей и трехмерных моделей узла "пройма-рукав".

Область исследования – процесс проектирования женских жакетов.

Методы и средства исследования. Для исследования отдельных элементов и всей системы "женская фигура – жакет" использовали следующие методы: графоаналитический, бесконтактный метод измерения фигур, метод измерения давления одежды на тело человека, метод распознавания изображений по оттенкам серого цвета, генерирования виртуальных объектов.

Для проведения экспериментальных исследований использовали САПР ET (BUYI Technology, Китай) для оцифровывания чертежей; компьютерную программу CLO 3D, версия 5.0.156.38765, (CLO Virtual Fashion, Республика Корея) для генерирования статичных и динамичных виртуальных объектов; программу ImageJ для анализа черно-белых изображений; датчик FlexiForce для измерения давления одежды на мягкие ткани человеческих фигур, программу MAYA, программу PASS15 для выбора достаточного объема обучающей выборки.

Статистическую обработку результатов измерений проводили с помощью программы SPSS (IBM, США), а презентацию результатов - Graphpad. В работе использован язык Python для написания программы проверки конструктивных параметров проймы и оката.

Научная новизна работы состоит в разработке схемы согласования параметров плоских чертежей конструкций и трехмерного рукава для прогнозирования его внешнего вида и пространственного положения. Впервые получены следующие научные результаты:

1. Конструктивная база данных женских классических жакетов.

2. Геометрические модели узла "пройма-рукав".

3. Принципы прогнозирования внешнего вида виртуальных рукавов, включающие: выбор аватара человеческой фигуры; применение аналогичных показателей для параметризации чертежей 2D деталей и 3D рукав и нахождения взаимосвязи между ними на основе установленных критериев посадки; применение одинаковых условий для создания виртуальных и реальных рукавов; сочетание субъективных и объективных методов оценки посадки; линейные регрессии для прогнозирования показателей внешнего вида моделируемых рукавов.

4. Критерии для оценки качества виртуальных рукавов.

Теоретическая значимость исследования состоит в создании теоретических и экспериментальных основ виртуального проектирования цифровых двойников женских жакетов с желаемым внешним видом рукавов.

Практическая значимость состоит в разработке технологии виртуального проектирования рукавов женских жакетов с прогнозируемыми показателями внешнего вида, методики объективной оценки состояния поверхности рукавов, критериев для оценки их качества. Технология и методики могут быть использованы в практике традиционного проектирования, для разработки программных модулей САПР и генерирования виртуальных двойников женских жакетов. Результаты работы внедрены при подготовке бакалавров в Политехническом институте Хэйюань (г. Хэйюань, Китай) и производстве одежды (компания Yachi Garment Co., Ltd., Гуанчжоу, Китай).

Степень достоверности результатов диссертационной работы обеспечивается согласованностью результатов экспериментальных исследований исходных материальных элементов - женских фигур и конструкций жакетов - и виртуальных систем "фигура - жакет", а также применением современных средств исследования, в том числе 3D САПР как инструментов для технологических изысканий.

Апробация результатов. Основные результаты работы были доложены на конференциях: «Современные наукоемкие технологии и перспективные материалы текстильной и легкой промышленности (Прогресс-2013)», **Иваново**, 2013; Информационная среда вуза", 2017, Иваново; "Молодые ученые – развитию текстильно-промышленного кластера" (ПОИСК), 2020, **Иваново**; международная конференция по передовым материалам, электронике и машиностроению АМЕМЕ2020 (**Китай**); международной конференции LightConf 2021 "Наука - Технологии - Производство", **СПб**; конференции международный конкурс молодых ученых ЛЕГПРОМНАУКА в рамках форума СМАРТЕКС 2021, **Иваново**; международная конференция по технике, технологиям и образованию ICTTE2021, Ямбол (**Болгария**).

Компьютерная программа "Remote Clothing Customization System (сокращенно: clothing customization)" зарегистрирована национальной администрацией по охране авторских прав КНР, № 03006712 от 14.08.2018, регистрационный номер 2018SR745971. База данных № 2022621167 "Чертежи конструкций и конструктивных параметров женских классических жакетов" зарегистрирована в ФИПС.

Публикации. По результатам диссертационного исследования опубликовано 10 печатных работ, из них две статьи в изданиях, входящих в «Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, ученой степени доктора наук», одна база данных и семь материалов конференций различных уровней, общий объем которых составляет 2,625 п.л. (личный вклад 1,4688 п.л.).

Структура и объем диссертационной работы. Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения, списка 163 использованных источников и 12 приложений. Содержание работы изложено на 236 странице машинописного текста, включая 66 рисунков и 62 таблицы.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована 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** выполнен анализ всех составляющих выбранной научной проблемы по генерированию виртуальной одежды и прогнозированию ее качества: проанализированы методы конструирования женских жакетов, виды и причины возникновения дефектов посадки; обосновано применение программы CLO 3D для работы с цифровыми двойниками фигур и женских жакетов;

- обосновано применение методики Bunka (Япония) для построения чертежей конструкций женских жакетов;

- выбраны объекты исследования,

- обоснованы методы и средства исследования,

- сформулирована цель и задачи.

Показано, что с помощью цифровых двойников можно воспроизвести множество ситуаций, которые имеют место при моделировании узда "пройма-рукав". Сформированы этапы создаваемой в диссертационной работе технологии генерирования виртуальных двойников женских жакетов с возможностью прогнозирования некоторых дефектов за счет улучшения качества изготовления чертежей (**рис. 1**).

Во **второй главе** проведено графоаналитическое описание и исследование чертежей конструкций женских жакетов и разработана шкала для оценки рукавов (полученные результаты опубликованы в одной работе).

Выборка была сформирована из 82 чертежей конструкций женских классических жакетов 2006-2018 гг., которые были параметризованы с помощью САПР ET. Чертежи были разработаны для типовой женской фигуры, см: $P = 160$; $O_{гз} = 84$, $O_{т} = 68$; $O_{б} = 90$, $D_{рук} = 50.5$; $O_{п} = 25.8$; $O_{лок} = 22.1$; $O_{зап} = 15$. Параметризация стана и рукавов выполнена по опубликованной методике кафедры КШИ ИВГПУ по параметрам отдельно для стана, рукава и после расположения рукава в пройме.

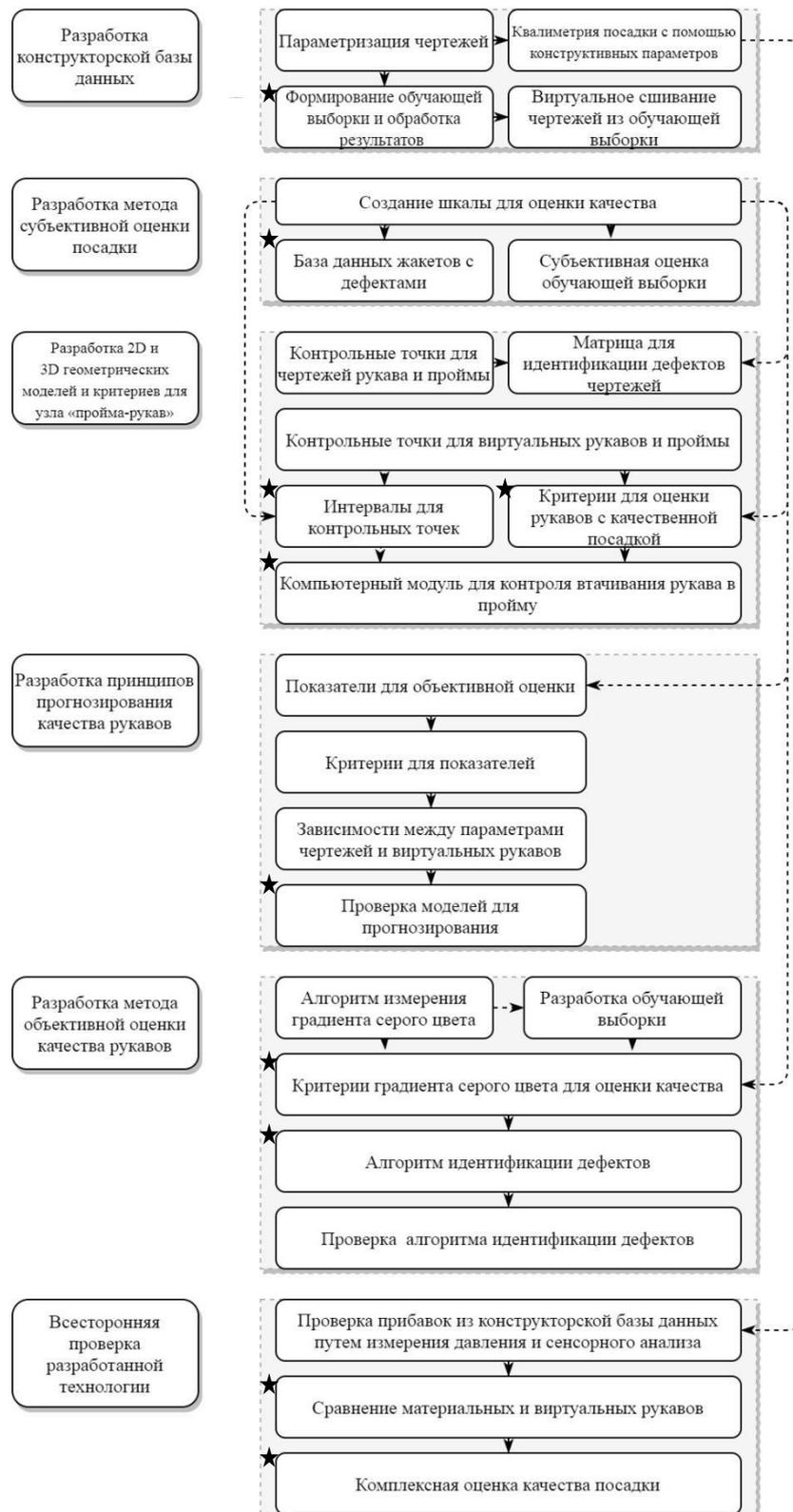


Рис.1 - Алгоритм технологии генерирования цифровых двойников женских жакетов

Исследованы возможные сочетания параметров проймы и рукава, приводящие к возникновению дефектов посадки рукавов. Была выполнена квалиметрия всех жакетов в виртуальной среде на основе сформулированных требований к внешнему виду верхней и нижней частей рукава. На **рис. 2**

показаны проекции виртуального женского жакета с идентификацией основных зон возникновения дефектов посадки.

В качестве обучающих выборок были выбраны 21 жакет с идеальной посадкой, 25 с хорошей, 18 с удовлетворительной, 7 с плохой и 6 с очень плохой в зависимости от количества дефектов и их влияния на общее восприятие. На рис.2 показаны зоны, в которых возникают дефекты посадки, инициированные качеством чертежей рукавов.



Рис.2 - Зоны возникновения дефектов посадки

Установлены сочетания конструктивных параметров, благодаря которым получена такая оценка рукавов. Основным конструктивным параметром взята длина проймы, как индикатор объемно-пространственной формы жакета.

В третьей главе разработана геометрические модели плоского и пространственного узла "пройма-рукав" (полученные результаты опубликованы в двух работах).

Были установлены допустимые границы взаимного расположения монтажных точек оката и проймы после совмещения двух линий на плоскости. Разработка геометрических моделей включала следующие этапы.

1. Параметризация линии проймы чертежа стана.
2. Параметризация линии оката чертежа рукава.
3. Параметризация совмещенных линий чертежей проймы и оката.
4. Виртуальное "сшивание" деталей чертежей жакетов.
5. Визуальный анализ и выбор рукавов с качественной посадкой.
6. Разработка схемы параметризации виртуальной линии шва проймы.
7. Формирование базы данных.

Для параметризации линии шва проймы в пространстве были выбраны следующие условия. В качестве начальной точки с координатами $x, y, z \{0.0.0\}$ выбрана плечевая точка аватара фигуры. Плоскость через плечевую точку, передний и задний углы подмышечных впадин соответствует естественному развороту в пространстве линии сочленения руки и туловища (**рис.3,а**). Расположение трех плоскостей, принадлежащих аватару (исходная), линии оката чертежа рукава (промежуточная) и линии шва проймы (окончательная)

относительно друг друга, показано на **рис.3,б**. Например, на **рис.3,б** высшая точка проймы *A1* расположена выше плечевой точки фигуры (координаты *x* и *y* имеют положительное приращение). Для согласования положения в пространстве использовали шесть пар точек на линиях проймы (*A*) и оката рукава (*S*) со следующими индексами: *1* – высшая точка проймы и оката, *2,6* – вершины локтевого и переднего перекатов соответственно, *3,5* – вспомогательные точки на границах участка накладываемости нижней части рукава на пройму со стороны спинки и полочки соответственно, *4* – низшая точка проймы и оката.

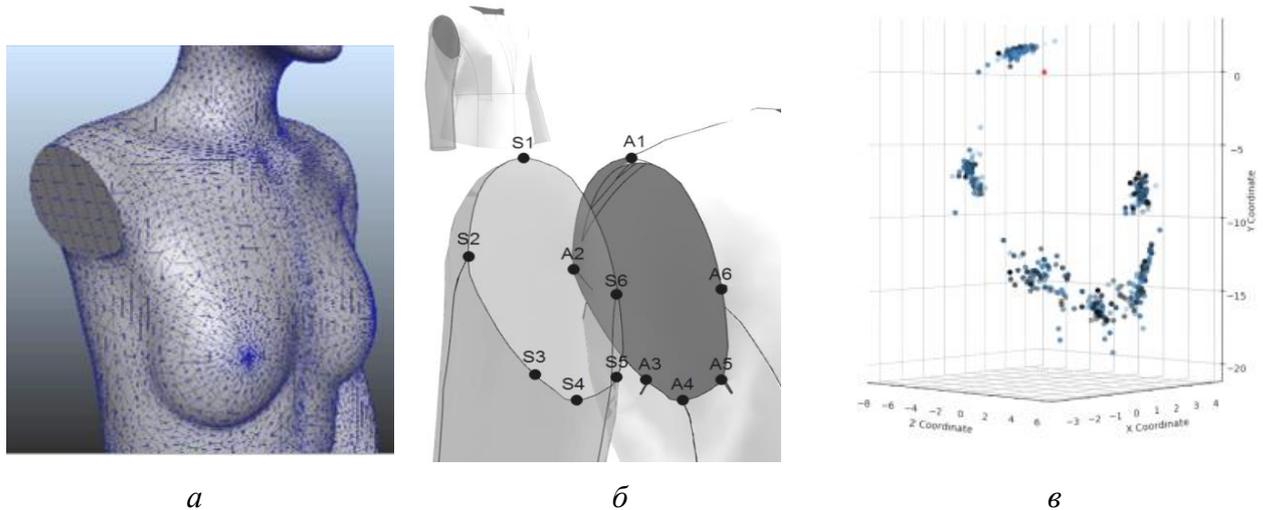


Рис. 3 - Подготовка аватара (а), схема соединения линий проймы и оката (б), поле точек для 82 виртуальных жакетов после втачивания рукава в пройму (в)

Разработана матрица для согласования параметров (длины и высоты проймы, высоты, ширины и длины оката рукава, нормы посадки) для разных объемно-силуэтных форм жакетов в зависимости от прогнозируемого уровня качества посадки.

На основе анализа виртуальных жакетов определены координаты для выбранных пар точек и критерии Δ , обеспечивающие качественную посадку рукава. Разработана программа в среде Python (компания Spyder-IDE) для автоматической рекомендации соответствующих диапазонов конструктивных параметров перед виртуальным пошивом.

В четвертой главе разработаны базовые принципы прогнозирования посадки рукава в виртуальной среде (результаты опубликованы в двух работах).

Обоснованы виды виртуальных аватаров для выполнения примерки - в виде торса без рук и с руками. Для целенаправленного управления процессом виртуального сшивания рукавов разработаны номенклатуры согласованных параметров плоских чертежей и трехмерных виртуальных рукавов (**рис. 4**).

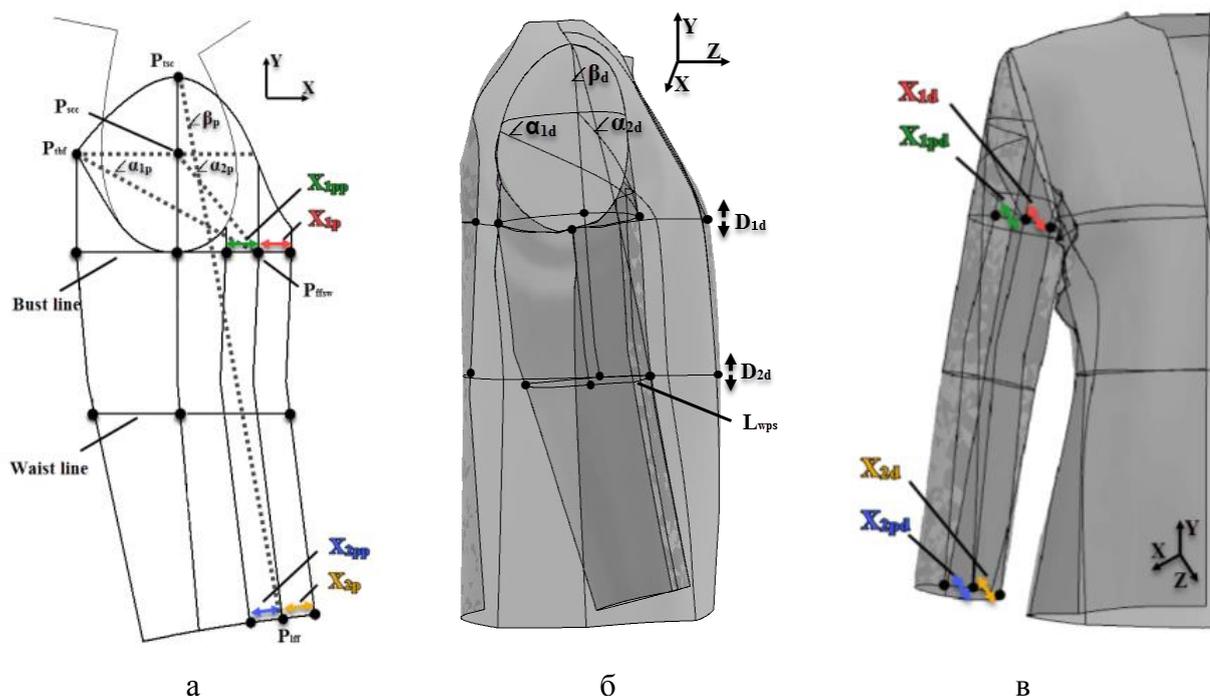


Рис.4 - Конструктивные параметры чертежей (а) и их применение в трехмерной модели рукава (б, в)

Определены условия взаимного преобразования параметров по схеме

$$I_v = I_p \pm \Delta r \quad (1)$$

где I_v – параметр виртуального рукава, I_p – параметр чертежа, Δr – допустимая разность.

Установлены значения допустимых разностей между параметрами, гарантирующие получение виртуальных рукавов с желаемыми показателями посадки. После статистической обработки параметров были установлены соотношения между ними для двух вариантов аватаров - с руками и без рук (табл.1).

Таблица 1 - Критерии для получения рукавов с хорошей посадкой

Параметр, единица измерения	Интервал значений			Ошибка	
	для чертежа	для полного аватара	для торса аватара	чертеж - аватар	чертеж - торс аватара
Первая группа "стабильных" параметров					
$\angle \beta^\circ$	12 ± 0.2	10.9 ± 0.4	11.5 ± 0.4	1.1 ± 0.6	0.5 ± 0.7
D_1 , см	0	-0.1 ± 0.2	0.1 ± 0.2	0.1 ± 0.2	
D_2 , см	0	0.1 ± 0.4	0.4 ± 0.4	0.1 ± 0.4	0.4 ± 0.4
Вторая группа "нестабильных" параметров					
$\angle \alpha_1^\circ$	28.7 ± 0.7	37.1 ± 1.3	34.2 ± 1.3	8.3 ± 2.0	5.4 ± 2.0
$\angle \alpha_2^\circ$	48.9 ± 0.9	63.3 ± 0.8	59.1 ± 1.1	14.5 ± 1.7	10.2 ± 2.0
X_1, X_2 , см	3.4 ± 0.4	1.9 ± 0.3	2.2 ± 0.3	1.5 ± 0.6	1.2 ± 0.6
$ X_1 - X_2 $, см	0	0.3 ± 0.1		0.3 ± 0.1	
X_{1p}, X_{2p} , см	3.4 ± 0.4	0.9 ± 0.2	1.1 ± 0.2	2.5 ± 0.5	2.3 ± 0.6
$ X_{1p} - X_{2p} $, см	0	0.2 ± 0.1		0.2 ± 0.1	

Проведен корреляционный анализ и получены регрессионные уравнения для прогнозирования качества виртуальных рукавов на полных аватарах и их торсах (рис. 5).

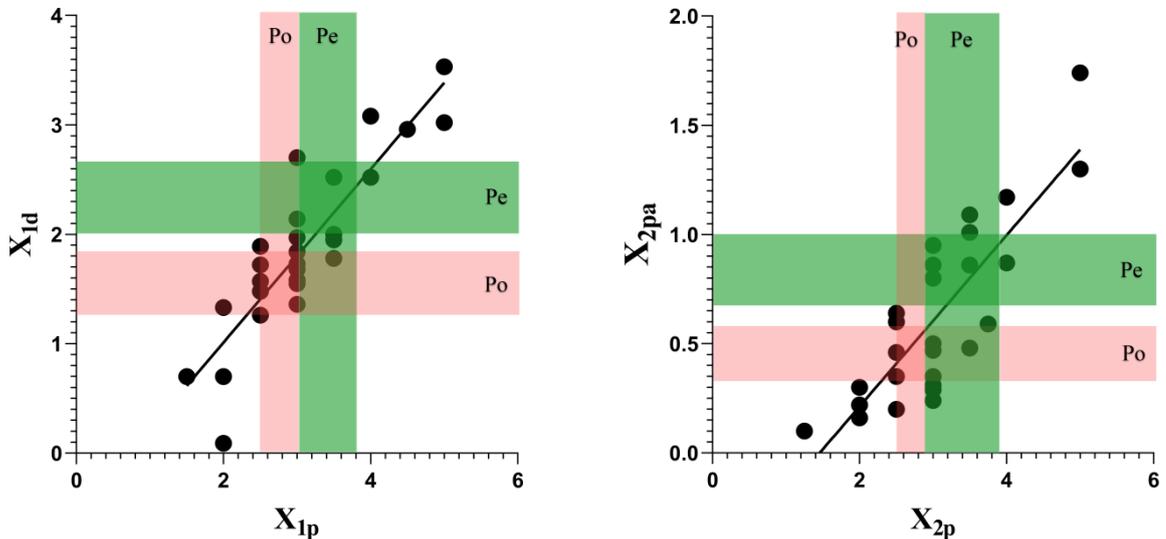


Рис. 5 - Диаграммы для прогнозирования положения переднего шва виртуальных рукавов: *Pe* - зона идеальной посадки, *Po* - зона плохой посадки

Сочетания конструктивных параметров проверены с помощью сенсорного анализа виртуальных рукавов.

В пятой главе сформирован алгоритм объективной идентификации дефектов, возникающих в виртуальных двойниках рукавов, под влиянием конструктивных особенностей чертежей рукавов (результаты опубликованы в двух работах).

Были сформированы обучающие выборки и изучен механизм возникновения складок. Для воспроизведения дефектов поверхности чертежи идеальных рукавов модифицировали путем изменения высоты ВОР и ширины ШОР оката, и направления передних и локтевых линий. Оценку ровноты поверхности рукавов проводили двумя способами: субъективно с привлечением экспертов (сенсорный анализ) и путем измерения интенсивности серого цвета по длине и ширине рукава в сравнении с эталонным рукавом. Для измерения интенсивности серого цвета исходный виртуальный рукав модифицировали путем автоматического изменения контрастности изображения в программе ImageJ. На рис. 6 показана схема подготовки виртуального рукава к измерению интенсивности серого цвета вдоль переднего сгиба и диаграмма шкалы серого цвета.

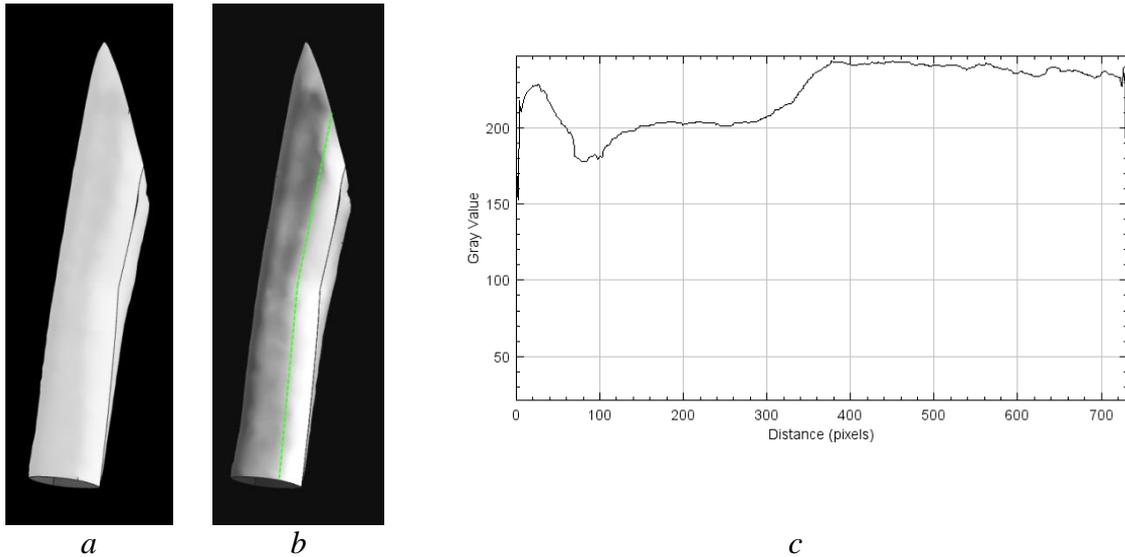


Рис. 6 - Этапы измерения интенсивности серого цвета вдоль переднего сгиба рукава: *a* - исходный рукав, *b*- рукав после контрастирования, *c*- диаграмма серого цвета

Количественную оценку перепадов интенсивности серого цвета каждого рукава проводили путем его сравнения с эталонным рукавом, обладающим отличной посадкой, по формуле

$$G_o = \frac{\sum |P_i - D_i|}{n} \quad (2)$$

где G_o – среднее значение разности между эталонным и экспериментальным рукавом, пиксель; P_i – значение i -го пикселя эталонного рукава; D_i – значение i -го пикселя экспериментального рукава; n – количество пикселей, $n = 500$.

Впервые получено уравнение регрессии между взвешенной объективной оценкой по шкале серого цвета и средней арифметической субъективной оценкой путем сенсорного анализа

$$Go(w) = 43,1 - 11,4 Aws, \quad (3)$$

где $Go(w)$ – взвешенная объективная оценка по шкале серого цвета, Aws – средняя арифметическая оценка результатов сенсорного анализа. Коэффициент корреляции составил 0,89, что подтверждает согласованность двух методов оценки.

Таким образом, разработан алгоритм квалиметрии виртуальных двойников рукавов женских жакетов с использованием шкалы серого цвета.

В **шестой** главе исследованы жакеты из обучающей выборки для обоснования их эргономического соответствия и беспрепятственного использования при виртуальном моделировании и проведена комплексная проверка разработанной технологии.

Первоначально с использованием датчика давления было исследовано возникновение давления под жакетами для проверки правильности установленных интервалов конструктивных прибавок. Эргономичность макетов жакетов оценивали дважды: субъективно по пятибалльной шкале и путем измерения давления с помощью пьезорезистивного датчика **FlexiForce**. Давление измеряли в следующих антропометрических точках: $T1$ – точка в области лопатки на уровне ширины спины, $T2$ – под проймой спинки на уровне заднего угла подмышечной впадины, $T3$ – на выступающей точке грудной железы, $T4$ – на уровне обхвата плеча. Эти точки выбраны, так как при определенных движениях человека (вертикальное поднятие руки, горизонтальное вытягивание рук вперед, наклон корпуса с опущенными вниз руками, открывание двери машины) на них оказывается наибольшее давление, зависящее от конструктивных прибавок. Получены зависимости между величинами конструктивных прибавок и возникающим давлением. Показано, что расхождение между величинами конструктивных прибавок в материальных и виртуальных жакетов незначительно.

Затем была проведена проверка разработанных матриц для прогнозирования качества случайно отобранных чертежей. Были задействованы матрицы: (1) для проверки плоских чертежей стана и рукава, (2) их линий в пространстве, (3) чертежей и виртуальных рукавов. Оценку качества виртуальных рукавов проводили по градиенту серого цвета. Подтверждена работоспособность всех матриц.

Третий этап включал экспериментальную проверку путем изготовления реальных жакетов из ткани Melton (состав: 50% шерстяное волокно, 50% акриловое волокно; толщина 1.4 мм, поверхностная плотность 490 g/m²) и генерирования его виртуального двойника. Цифровой двойник ткани был выбран из библиотеки CLO3D. На рис. 6 показаны оба жакета со схемой измерения параметров, значения которых показаны в **табл.1**. Из **рис. 7** видно, что рукав имеет ровную поверхность, а из **табл. 2** - незначительность различий между виртуальным и материальным рукавами.

Таблица 2 - Результаты измерения параметров виртуального и материального рукавов

Вид рукава	Значения углов, град. (рис.7)		
	α_1	α_2	β
материальный	34.6	56	11.9
виртуальный	33.6	58.5	11.9

На *четвертом этапе* была выполнена комплексная проверка всех разработанных методик и алгоритмов на примере случайным образом отобранных чертежей рукавов путем симуляции рукавов и проведения субъективной оценки посадки, параметризации чертежей и рукавов, измерения интенсивности серого цвета. Установлено, что качество посадки рукавов с использованием шкалы серого цвета в условных единицах

составляет: для рукавов с отличной посадкой 0,03-0,21, для рукавов с плохой посадкой 17,2-38,0, что достаточно для прогнозирования качества на основе конструктивных параметров.



Рис. 7 - Внешний вид контрольных виртуального и материального жакетов

Комплексная проверка полученных результатов показала, что разработанные технологии, алгоритмы и критерии позволяют идентифицировать причины появления дефектов посадки и своевременно их устранять.

Таким образом, подтверждена справедливость и практическая применимость разработанной технологии на основе сформированных баз данных, знаний и правил.

ИТОГИ ВЫПОЛНЕННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

1. Разработана база конструктивных параметров чертежей женских классических жакетов в виде цифровых таблиц и библиотеки виртуальных трехмерных образов рукавов с разными показателями качества посадки рукавов.

2. Разработаны две геометрические модели узла "пройма-рукав" для согласования точек на сопрягаемых линиях проймы и рукава. Первая модель предназначена на проверки чертежей стана и рукава на плоскости. Вторая модель согласовывает в трехмерном пространстве относительно плоскости сочленения руки с торсом положения замкнутых линий оката и проймы. Установлены допустимые диапазоны координат совмещаемых контрольных идентичных точек, не приводящие к дефектам посадки вдоль шва втачивания рукава в пройму.

3. Разработана единая номенклатура показателей, относящихся к чертежам и виртуальным рукавам, для согласования пространственного положения рукавов и состояния их поверхности спереди, сбоку, сзади и

изнутри. Получены уравнения, определены условия и допустимые критерии согласования параметров для исключения появления дефектов рукавов.

4. Разработан метод объективной оценки, условия его применимости и критерии для оценки состояния поверхности виртуальных рукавов, основанный на измерении интенсивности серого цвета. Подтверждена высокая корреляция между субъективными показателями сенсорной оценки и измеренными показателями градиента серого цвета.

6. Разработана компьютерная программа на языке Python для автоматической проверки конструктивных параметров проймы и рукавов.

7. Доказана взаимозаменяемость процессов проектирования рукавов в материальной и виртуальной средах с позиций адекватности проектируемых конструктивных прибавок, допустимости возникающего давления в системе "фигура - жакет" и получаемой объемно-пространственной формы рукавов.

8. Совокупность разработанных методик проектирования и контроля составили новую технологию виртуального проектирования узла "пройма-рукав" женских жакетов в виртуальной среде с прогнозированием дефектов внешнего вида рукава по шкале серого цвета.

9. Проведена производственная апробация полученных результатов, подтвердившая правильность исследований и полученных результатов.

РЕКОМЕНДАЦИИ, ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ

1. Результаты работы рекомендованы к использованию в учебном процессе подготовки бакалавров и магистров, осваивающих компетенции в области проектирования изделий легкой промышленности в САПР, на предприятиях, производящих женскую одежду, при модернизации САПР и переподготовке кадров для развития новых компетенций, ориентированных на цифровую экономику.

2. Расширение баз данных и правил для повышения точности и чувствительности технологии виртуального проектирования к особенностям морфологии фигур и объемно-пространственной формы жакетов.

3. Развитие технологии получения виртуальных систем "фигура - одежда" с объединением процессов изготовления чертежей, виртуального сшивания, автоматического контроля результатов и автоматической корректировки чертежей для достижения требуемого уровня качества.

Основные результаты работы опубликованы:

в изданиях, входящих в «Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, ученой степени доктора наук»:

1. Ван, С. Создание цифровых двойников узла "пройма-рукав" / С. Ван, В.Е. Кузьмичев // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. - 2020. - № 1(385) - С.177-184 (0,5/ 0,25 п.л.).

2. Ван, С. Идентификация дефектов виртуальной одежды / С. Ван, В.Е. Кузьмичев // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. – 2022. - № 2. – С.159-168 (0,625/ 0,3125 п.л.).

в публикациях в сборниках трудов, материалах конференций и других изданиях:

3. Ван, С. Новый подход к проектированию двух шовных рукавов / Ван Сидя, 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.23-25 (0,1875/0,0938 п.л.).

4. Ван, С. Сценарная технология виртуального кастомного проектирования женских жакетов / С. Ван, В.Е. Кузьмичев // Информационная среда вуза: материалы XXIV межд. научн.-техн. конф. 22-23 ноября 2017 г. Иваново, ИВГПУ, с.147-150 (0,25/0,125 п.л.).

5. Ван, С. Матрица для прогнозирования дефектов посадки рукавов в женских жакетах / С. Ван, В.Е. Кузьмичев // Молодые ученые – развитию национальной технологической инициативы (ПОИСК–2020): сб. материалов национальной молодежной научно-технической конференции. – Иваново: ИВГПУ, 2020, с.69-72 (0,25/0,125 п.л.).

6. Ван, С. Automatic Evaluation of Sleeve Pattern for Classical Women Jacket (Автоматическая оценка чертежей конструкций классического женского жакета) / С. Ван, В.Е. Кузьмичев // DEStech Transactions on Materials Science and Engineering: Electronical and Mechanical Engineering AMEME, 2020, 13, с. 36-42 (0,4375/0,21875 п.л.).

7. Ван, С. Прогнозирование качества проектирования рукавов в виртуальной среде / Ван Сидя, В.Е. Кузьмичев // LightConf 2021 "Наука - Технологии - Производство": матер. международн. науч.-технич. конф. 29-31 марта 2021 г. / СПб.: ФГБОУВО "СПбГУПТД", 2021. - 46 с. (0,0625/0,03125 п.л.).

8. Ван Сидя. Разработка метода диагностирования качества рукавов виртуальной одежды / С. Ван // Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы: сб. материалов XXIV междунар. науч.-практ. форума «Smartex-2021», 12–14 октября 2021 года. – Иваново: ИВГПУ, 2021. Смартекс 2021, с. 187-188 (0,125/0,125 п.л.).

база данных

9. База данных № 2022621167 Российская Федерация. Чертежи конструкций и конструктивных параметров женских классических жакетов: заявл. 23.05.2022/ С. Ван, Кузьмичев В.Е.

статьи в других изданиях

10. Wan, S.D. Study on Application of Clothing Simulation by software Marvelous designer and ET-CAD (Chinese) / S.D. Wan // China New Technologies and Products, 2015, 8, pp.19-20. (0,1875/0,1875 п.л.).

Подписано в печать 01.07.2022.

Формат $\frac{1}{16}$ 60x84.

Бумага писчая. Плоская печать.

Усл. печ. л. 1,05. 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