

На правах рукописи



Цзя Шуан

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ
МУЖСКИХ ПАЛЬТО ПОКРОЯ РЕГЛАН**

Научная специальность 2.6.16. Технология производства изделий текстильной и легкой промышленности

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени кандидата технических наук

Иваново 2026

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»

**Официальные
оппоненты**

Черунова Ирина Викторовна, доктор технических наук, профессора, профессор кафедры «Конструирование, технологии и дизайн» Института сферы обслуживания и предпринимательства (филиала) ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет» в г.Шахты

Сулейманова Елена Александровна, кандидат технических наук, ассистент кафедры «Конструирование одежды и обуви» ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет»

Ведущая организация

ФГБОУ ВО "Владивостокский государственный университет "

Защита состоится 24 сентября 2026 в 12-00 часов на заседании диссертационного совета 24.2.300.02 на базе ФГБОУ ВО «Ивановский государственный политехнический университет» по адресу: 153000 г. Иваново, Шереметевский пр., д. 21, ауд. ГШ109.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на официальном сайте ФГБОУ ВО «Ивановский государственный политехнический университет»: <https://ds.ivgpu.com/dissertations>.

Автореферат разослан «___» _____ 2026 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Никифорова Е.Н.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В условиях цифровой трансформации швейной промышленности традиционный процесс художественного и технического проектирования одежды, включающий разработку модели, построение лекал и изготовление физического образца, использует преимущества трёхмерного моделирования и нейронных сетей. Для обеспечения сопоставимости результатов физической примерки, трёхмерной виртуальной примерки и изображений, сгенерированных с помощью искусственного интеллекта, требуется единая воспроизводимая система количественных измерений. К одежде покроя реглан предъявляют повышенные требования к точности согласования, с одной стороны, параметров конструкции (оформления плечевой и линии проймы, сочетанию конструктивных прибавок и др.), и, с другой стороны, к объёмно-пространственной форме. Существующие методы построения чертежей рукава реглан существенно различаются, что даже при одинаковых размерных признаках фигуры приводит к заметным вариациям формы рукава и изменению посадки одежды на фигуре. В связи с этим разработка технологии цифрового проектирования мужских пальто с рукавом реглан, которая будет интегрировать параметрическое конструирование чертежей, трёхмерную виртуальную примерку и компьютерные программы в рамках единой измеримой системы, является актуальной научно-технической задачей.

Степень разработанности темы. Методы цифрового проектирования одежды получили развитие в работах отечественных учёных из высших учебных заведений: Российского государственного университета имени А.Н. Косыгина (Е.Г. Андреева, И.А. Петросова, В.В. Гетманцева и др), Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна (Н.Н. Раздомахин, Е.Я. Сурженко, А.Ю. Москвин, М.А. Москвина), Донского государственного технического университета (И.В. Черунова), Казанского национального технологического исследовательского университета (Н.В. Тихонова, Е.А. Сулейманова), Ивановского государственного политехнического университета (В.Е. Кузьмичев, Ся Пэн, Ло Юнь, Ли Юэ, Ян Цзяци, Ван Сидя и др). Научные организации Китайской Народной Республики (Политехнический университет в Гонконге, Пекинский университет моды и дизайна, Университет Дунхуа в Шанхае и др.) развивают комплексные исследования по цифровизации всех процессов художественного и промышленного дизайна одежды. Активные исследования проводят российские и зарубежные компании-разработчики программного обеспечения для трёхмерного проектирования одежды (ACCOLY, Texel, Style3D, CLO3D, OptiTex, Marvelous Designer и др.). Вопросы применения нейронных сетей для генерации одежды и виртуальной примерки рассмотрены в работах, посвящённых методам VITON, WarpDiffusion, CG-VTON и другим. Однако комплексный подход к единой системе 2D и 3D количественных оценок, связывающий плоские чертежи, плоские и трёхмерные изображения человеческой фигуры и одежды, представлен в литературе недостаточно.

Связь с научными программами. Работа выполнена по гранту РНФ № 25-11-00022 "Технология виртуальных испытаний текстильных материалов для 3D моделирования одежды" (2025-2027 гг.).

Целью исследования является сокращение сроков подготовки к промышленному производству и улучшение качества новых моделей пальто покроя реглан.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

1. Создать антропометрическую базу данных мужских фигур типового телосложения в виде набора проекционных параметров, необходимых для генерации фронтальных и профильных силуэтов систем «фигура – пальто покроя реглан».

2. Разработать группировку объёмно-силуэтных форм пальто покроя реглан и систему количественных критериев для оценки их посадки на фигуру.

3. Усовершенствовать методику конструирования пальто покроя реглан путём включения в алгоритм построения чертежей системы уравнений, связывающих параметры чертежей с показателями проектируемой объёмно-силуэтной формы.

4. Разработать и верифицировать мультимодальный алгоритм для генерации изображений систем «фигура – пальто покроя реглан» с помощью нейронных сетей и оценить точность генерируемых изображений путем их сравнения с виртуальными и реальными изделиями.

5. Разработать алгоритм прямого проектирования пальто покроя реглан с задаваемыми показателями объёмно-силуэтной формы и критериями посадки и алгоритм обратного инжиниринга для реконструкции чертежей деталей по фотографии с использованием всех доступных цифровых инструментов (двумерной САПР, трёхмерной САПР и нейронных сетей).

6. Провести промышленную проверку разработанных технологий и алгоритмов в условиях китайского и российского швейных производств.

Объект исследования – процесс цифрового проектирования систем «фигура – пальто покроя реглан».

Предмет исследования – закономерности влияния конструктивных параметров чертежей на форму и посадку пальто покроя реглан в виртуальной и физической средах.

Методы и средства исследования. В работе использованы методы системного анализа и параметрического конструирования изображений одежды, фигур и чертежей; трёхмерное моделирование и виртуальная примерка (программные комплексы Style3D версии 9.0, Rhinoceros версии 7.0); анализ многокомпонентных систем (графический редактор Adobe Illustrator 2024); корреляционный и регрессионный анализ (пакет IBM SPSS Statistics версии 26); статистическая обработка данных; методы промпт-инжиниринга для генерации изображений с помощью нейронной сети Grok 3 компании xAI.

Научная новизна диссертационного исследования состоит в разработке интегрированной технологии цифрового проектирования мужских пальто покроя реглан, объединяющей параметрическое конструирование чертежей, трёхмерную виртуальную примерку и генерацию 2D и 3D изображений в рамках единой системы проекционных параметров, позволяющей осуществлять

прямое проектирование от чертежей к заданной объёмно-силуэтной форме и обратное проектирование от фотографии пальто к чертежам. Впервые получены следующие результаты:

1. Впервые предложена иерархическая система количественной оценки чертежей, фигур и одежды на основе проекционных параметров, включающая критерии баланса стана, пространственного соответствия рукава и руки и группировки объёмно-силуэтных форм пальто покроя реглан.

2. Установлены регрессионные зависимости между ключевыми параметрами чертежей пальто покроя реглан и показателями их посадки на фигурах разных морфологических типов, позволяющие перейти от эмпирического прогнозирования к точному расчёту.

3. Обоснована эффективность генерации изображений мужских фигур и пальто покроя реглан как единой системы с помощью нейронных сетей, обеспечивающая отклонение проекционных размеров не более 1,0 см и превосходящая по точности воспроизведения силуэта традиционную трёхмерную симуляцию.

4. Предложен комплементарный алгоритм цифрового проектирования, в котором трёхмерная симуляция обеспечивает структуру пальто и связь с чертежами, а генерация с помощью нейронных сетей повышает фотореализм и соответствие силуэта физическим прототипам.

Работа соответствует следующим пунктам паспорта научной специальности:

- 8. Технологии имитационного моделирования цифровых двойников волокон, нитей, материалов, изделий легкой промышленности и человеческих фигур.

- 12. Антропобиомеханические основы и закономерности в антропометрических данных для построения рациональной внутренней, внешней форм и деталей конструкции при проектировании ИТЛП в цифровой и реальной среде.

- 17. Разработка методов автоматизации и оптимизации производств материалов и ИТЛП на основе научного прогнозирования, применения математических методов, нейронных сетей, искусственного интеллекта.

Теоретическая значимость исследования состоит в развитии научных основ параметрического проектирования одежды с использованием системы параметров как универсального измерительного интерфейса, связывающего чертежи, плоские и трёхмерные изображения. Разработанная система критериев и регрессионных моделей углубляет понимание взаимосвязей в системе «фигура – чертежи – форма» для пальто покроя реглан.

Практическая значимость выполненного исследования:

1. Полученные математические модели позволяют автоматизировать коррекцию чертежей рукава реглан на этапе подготовки производства.

2. Созданные базы данных проекционных параметров мужских фигур и пальто могут быть использованы для обучения специализированных моделей нейронных сетей в швейной отрасли.

3. Разработанные критерии оценки посадки и формы внедрены на предприятии Polargoose Clothing Co., Ltd (Китай) и в открытом акционерном

обществе «Сударь» (город Ковров, Владимирская область, Россия), что позволило сократить сроки подготовки новых моделей, уменьшить количество итераций примерки с двух до одной; снизить затраты на разработку первого образца и количество операций корректировки; повысить качество за счет внедрения количественных критериев оценки посадки и снизить субъективность экспертных оценок.

Личный вклад автора. На всех этапах выполнения работы автор под руководством научного руководителя принимал личное участие в постановке цели и формулировке основных задач исследования, в планировании и проведении экспериментов, обсуждении полученных результатов, формулировании выводов и проверке гипотез, подготовке материалов публикаций совместно с соавторами. Доля соискателя в опубликованных работах составляет от 59 до 80 %.

Положения, выносимые на защиту:

1. Система показателей объёмно-силуэтной формы и критериев оценки посадки пальто с рукавом реглан.

2. Методы прямого (от лекал к форме) и обратного (от фотографии к лекалам) проектирования пальто покроя реглан, позволяющие получать объёмно-силуэтную форму с заданными показателями и реконструировать чертежи деталей по одному фотографическому изображению.

3. Метод генерации изображений систем "фигура - пальто покроя реглан" с помощью нейронных сетей, основанный на усовершенствованных антропометрических базах данных, обеспечивающий высокую точность воспроизведения при сохранении структуры и формы пальто.

Степень достоверности результатов подтверждается использованием представительной выборки объектов исследования (23 апробированных комплекта лекал, 230 фотографий пальто покроя реглан, 20 вариантов мужских фигур различных полнотных групп), применением апробированных в научной практике методов трёхмерной симуляции, статистической обработкой результатов измерений для уровня доверительной вероятности 95 %, высокой точностью сгенерированных цифровых двойников фигур и пальто (отклонения $\pm 0,9$ см и $\pm 2,4^\circ$), а также положительными результатами промышленной проверки разработанных моделей в условиях двух реальных производств.

Апробация работы. Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на национальных (с международным участием) молодёжных научно-технических конференциях «ПОИСК» в 2024-2026 гг. в (г. Иваново).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 6 печатных работ, из них 2 статьи в изданиях, входящих в перечень рецензируемых научных изданий.

Структура и объём диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения (выводов и рекомендаций), списка литературы из 139 наименований и четырех приложений. Общий объём работы составляет 232 страницы машинописного текста, включая 37 страниц приложений, 77 рисунков и 50 таблиц. Оригинальность текста диссертации составляет 97,45 %.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи исследования, представлены научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, охарактеризованы методы исследования и положения, выносимые на защиту.

В первой главе выполнен обзор литературы по трём основным направлениям исследования: конструирование одежды покроя реглан, применение трёхмерных технологий в проектировании одежды и применение нейронных сетей в индустрии моды. Анализ показал, что, несмотря на наличие различных методов построения одежды покроя реглан (прямое построение, пропорциональное построение, построение на основе базовой конструкции) в них отсутствует системный подход для прогнозирования показателей итоговой объёмно-силуэтной формы. Рассмотрены современные платформы трёхмерной симуляции (Style3D, CLO3D, OptiTex) и их возможности для виртуальной примерки, выявлена проблема несопоставимости результатов из-за различий в настройках и отсутствия унифицированных критериев оценки. Анализ применения нейронных сетей как нового инструмента для виртуальной безлекальной симуляции одежды показал, что основное внимание в существующих исследованиях уделяется визуальным эффектам, а не структурной точности чертежей, типовых фигур, необходимых для промышленного производства. На основе выявленных проблем сформулированы цель и задачи диссертационного исследования.

Во второй главе представлены объекты и методы исследования, а также разработанная система критериев для оценки разных видов систем «фигура – пальто». последовательно реализуемые для изучения фигур и систем "фигура-одежда" (короткий стан без рукава, короткий стан с рукавом, пальто с рукавом).

В качестве **объектов исследования** выбраны:

- базовые методики построения стана мужской одежды (обозначены как P1, P2, P3);
- базовые методики построения конструкций двухшовных и трёхшовныхрукавов (обозначены как P4, P5, P6);
- чертежи мужских пальто реглан;
- фотографии пальто покроя реглан высокого разрешения;
- мужские фигуры типового телосложения разных размеров и полнот;
- горизонтальные сечения систем «фигура – пальто покроя реглан»;
- реальные и виртуальные модели пальто с разными величинами конструктивных прибавок и объёмно-силуэтных форм;
- реальные ткани и их виртуальные двойники.

Для согласования графоаналитической информации, передаваемой между этапами традиционного и цифрового проектирования, разработана система проекционных параметров для фигур и пальто. Для мужских фигур определены 26 параметров четырех категорий: высоты, фронтальные и профильные диаметры, угловые параметры. Для пальто определены 19 проекционных параметров.

Критерии оценки разработаны для трёх объектов по мере усложнения их конструкции и состава пакета материалов (рис. 1):

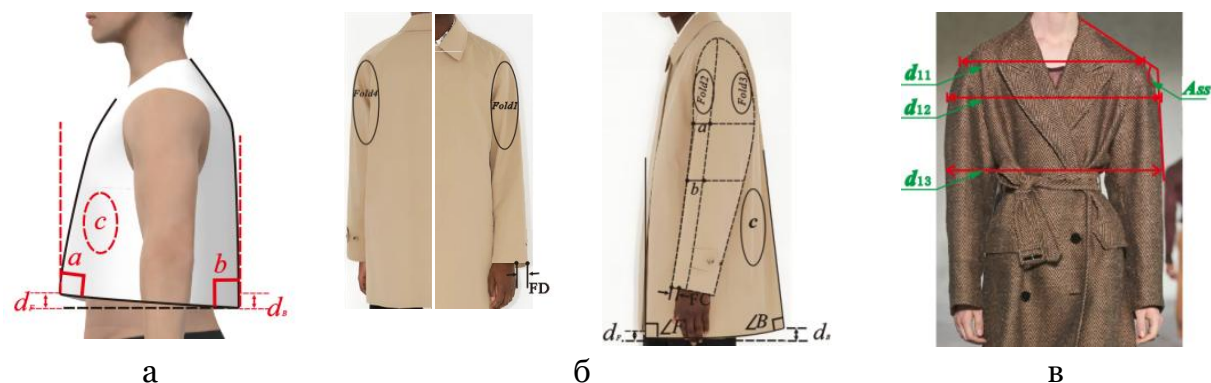


Рис. 1- Схемы измерения показателей и критериев для трёх исследуемых объектов: а - виртуальный двойник стана без рукавов C_B ; б — виртуальный двойник пальто с рукавом реглан C_C ; в — фотография готового пальто реглан C_V

1) для проверки посадки на аватаре **стана базовой конструкции без рукава длиной до талии** (обозначены как C_B) (рис. 1 (а)). Они включают:

- угол между передним контуром и линией низа спереди и сзади, критерий $[88 \dots 92^\circ]$;
- количество складок на стане, $c = 0$;
- наклон линии низа (расстояние от линии низа до горизонтали), критерий $Y < 0,8$ см.

Критерии C_B получены после виртуальных примерок и проверены в условиях физической примерки.

2) для проверки посадки модельной конструкции **стана с рукавом реглан** на аватаре иреальной фигуре (обозначены как C_C) (рис. 1 (в)). Они включают семь показателей:

- наклон линии низа, интервал $[0 \dots 2 \text{ см}]$;
- угол между передним контуром и линией низа спереди и сзади, допустимый интервал $[88 \dots 92^\circ]$;
- количество складок на стане;
- расстояние от запястья до заднего контура рукава, интервал $[0,7 \dots 4,1 \text{ см}]$;
- расстояние от запястья до переднего контура рукава, интервал $[1,0 \dots 4,3 \text{ см}]$;
- разность расстояний между средней линией рукава и передней линией рукава на уровнях верхней части руки и локтя, интервал $[0 \dots 0,7 \text{ см}]$;
- количество складок на рукаве;

3) для параметризации фронтальных контуров объёмно-силуэтной форм **пальто реглан** (обозначены как C_V). На основе анализа масштабированных фотографий и лекал пальто выделены четыре категории форм: прилегающий (Fit), полуприлегающий (Semi-fit), полусвободный (Semi-loose) и свободный (Loose). Для каждой категории определены параметры:

параметр, см	значение параметра для формы			
	прилегающая (Fit)	полуприлегающая (Semi-fit)	полусвободная (Semi-loose)	свободная (Loose)
прибавка к обхвату груди	10...13	14...18	19...25	26...35
ширина на уровне проймы (d ₁₂)	44,8–46,8	46,9–52,0	52,1–56,7	56,8–70,0
ширины на уровне локтя (d ₁₃)	46,8–50,8	50,9–57,4	57,5–62,2	62,3–73,4

Для генерации изображений с помощью нейронной сети Grok 3 разработана мультимодальная стратегия формирования запросов (промптов). Рассмотрены два метода, использующие: текстовые описания и значения проекционных параметров (метод А) и текстовые описания, значения проекционных параметров, аватара или виртуального пальто из Style3D (метод Б). Разработаны стандартизированные структуры запросов для генерации высокоточных изображений аватаров (AIB) и изображений систем "аватар - пальто" (AIC) с контролируемыми условиями позы, ракурса, освещения и фона.

Таким образом, была сформирована предметная область и определены ее границы для проведения исследований и поиска закономерностей.

В третьей главе представлены результаты трехэтапного исследования чертежей конструкций базового покрова и покрова реглан.

На первом этапе путём виртуальной примерки на 20 вариантах мужских фигур трёх базовых конструкций станом был выбран прототип, наилучшим образом повторяющий верхнюю опорную поверхность фигур с минимальным количеством дефектов. Прототип Р1 показал наилучший результат по критериям посадки стана C_B . На основе дополнительных трёхмерных антропометрических измерений определены дополнительные параметры, которые использовали для корректировки прототипа Р1 в зависимости от категории телосложения: изменены углы наклона плечевых линий и распределение ширины чертежа стана между полочкой и спинкой. Модификация лучшего прототипа Р1 с учётом этих параметров позволила повысить уровень хорошей посадки с 58,5 % до 95 %.

На втором этапе проведён сравнительный анализ трёх прототипов рукава реглан. Прототип Р6 показал наилучшие результаты по трём критериям: количеству нежелательных складок и пространственному положению рукава относительно руки. Двухшовная конструкция рукава Р6 была доработана до трёхшовной конструкции Р7 путем введения новой детали, смещения вперёд средней линии рукава и поворота вперёд задней части рукава в соответствии с морфологическими особенностями рук. Объединение трёхшовного прототипа рукава Р7 со станом Р1 позволило достигнуть 91,7 %-ного уровня соответствия критериям качества посадки против 56,7 % у исходного прототипа Р6.

На третьем этапе выполнена параметризация чертежей рукава реглан. На основе выборки чертежей пальто и методики построения рукава реглан кафедры

КШИ ИВГПУ определены 14 конструктивных параметров, из которых четыре параметра (критерии первого уровня) были использованы в качестве зависимых переменных (рис. 2).

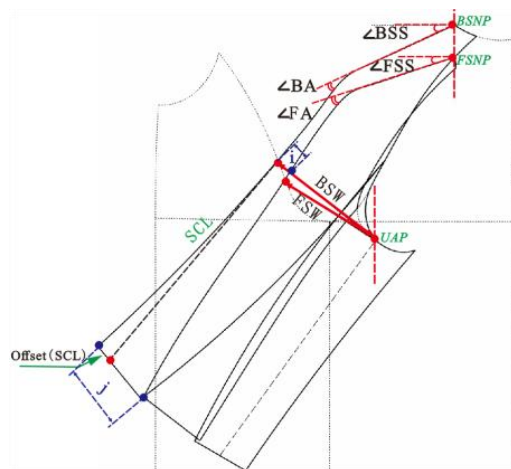


Рис. 2 -Схема измерения конструктивных параметров рукава реглан

Корреляционный анализ Пирсона и диагностика коллинеарности позволили выделить четыре ключевых конструктивных параметра, оказывающих наибольшее влияние на форму:

- X_4 – сумма углов наклона плечевых линий спинки и полочки $\Delta(\angle BSS + \angle FSS)$;
- X_7 – сумма дополнительных углов между задней и передней плечевыми линиями и средней линией рукава $\Delta(\angle BA + \angle FA)$;
- X_{10} – разница между шириной задней и передней частей рукава $\Delta(BSW - FSW)$;
- X_{11} – смещение средней линии рукава вперёд на уровне низа рукава $Offset(SCL)$.

Для этих параметров установлены диапазоны, обеспечивающие хорошую форму рукава: $X_4 \in [40...54^\circ]$; $X_7 \in [60...72^\circ]$; $X_{10} \in [2,5...7,5 \text{ см}]$; $X_{11} \in [1,5...3,5 \text{ см}]$.

На основе взаимосвязи между ключевыми конструктивными параметрами и установленными параметрами формы Y_1 (FD), Y_2 (FC), Y_3 ($|a-b|$) и Y_4 (Folds) были получены следующие регрессионные уравнения: (при уровне значимости $p < 0,01$):

$$Y_1 = -8,98 + 0,242 \cdot X_4 \quad (1)$$

$$Y_2 = -1,48 + 1,658 \cdot X_{11} \quad (2)$$

$$Y_3 = -0,35 + 0,140 \cdot X_{10} \quad (3)$$

$$Y_4 = -5,02 + 0,0838 \cdot X_7 \quad (4)$$

Проверка регрессионных моделей на контрольных лекалах двухшовного и трёхшовного рукавов подтвердила их адекватность.

Таким образом, на основе использования новых антропометрических данных и разработанной системы критериев усовершенствована методика построения чертежей пальто реглан.

В четвёртой главе разработан алгоритм цифровизации проектирования пальто реглан на основе трёхмерной симуляции и изображений, сгенерированных нейронной сетью.

Генерация изображений фигур (AIB). С использованием нейронной сети Grok 3 генерировали изображения типовых фигур двумя методами: текстовые описания и численные значения 26 проекционных параметров (метод А) и текстовые описания, численные значения 26 проекционных параметров и референсное изображение аватара из Style3D (метод Б). Метод Б обеспечивает значительно более высокую точность генерации изображения фигуры, см: отклонение для высот составило $-0,6 \pm 0,9$, фронтальных диаметров - $0,2 \pm 0,7$, профильных диаметров - $0,1 \pm 0,7$, - $0,7 \pm 4,5^\circ$ для угловых параметров. Более 90 % генерируемых изображений имели отклонения меньше $\pm 1,0$ см от реальных измерений для ширины плеч, ширины груди, ширины талии, ширины локтя и ширины запястья. Стабильность результатов генерации была проверена путем сравнения результатов, полученных 14 мая 2025 г. и 22 апреля 2026 г.: средняя абсолютная разность составила 0,16 см, что свидетельствует об устойчивости и надежности разработанных промптов.

Генерация системы «фигура -пальто» (AIC). На рис. 3 показаны пальто разного способа получения, подтверждающие высокую эффективность генерации с использованием нейронной сети.



Рис. 3 - Пальто полуприлегающего силуэта с прибавкой по линии груди 16 см: а - реальное пальто; б - изображение, сгенерированное в Grok3; в - виртуальная модель, полученная в Style3D

Сравнение двух цифровых объектов - ИИ-пальто AIC, виртуального пальто VC (трёхмерная симуляция в Style3D) - с реальным пальто по 19 проекционным параметрам показало, что средняя абсолютная относительная ошибка (MAPE) составила: для AIC 2,8 %, для VC 7,6 %. Наибольшее преимущество AIC наблюдалось для рукава (MAPE = 3,9 % против 12,1 % для VC) и угловых параметрах (MAPE = 3,4 % против 12,3 % для VC).

Проверка структурной согласованности ИИ-генераций была проведена путём удаления пальто из AIC, извлечения аватара фигуры и сравнения его с исходным аватаром. Минимальные отклонения подтверждают сохранение анатомической структуры фигуры после генерации на ней пальто.

Влияния вида ткани (рис. 4). Для установленных четырёх объёмно-силуэтных форм (с прибавками по груди 12, 16, 20 и 28 см) были сгенерированы пальто из трёх видов тканей с близкими значениями поверхностной плотности. На рис. 4 показаны значения проекционных параметров d_{12} и d_{13} (рис.1 в), которые все находятся внутри зон трендов допустимых интервалов. Средняя абсолютная относительная ошибка MAPE для четырёх силуэтных категорий изображений пальто, сгенерированных с помощью нейронной сети, составила от 2,3 до 3,1 %.

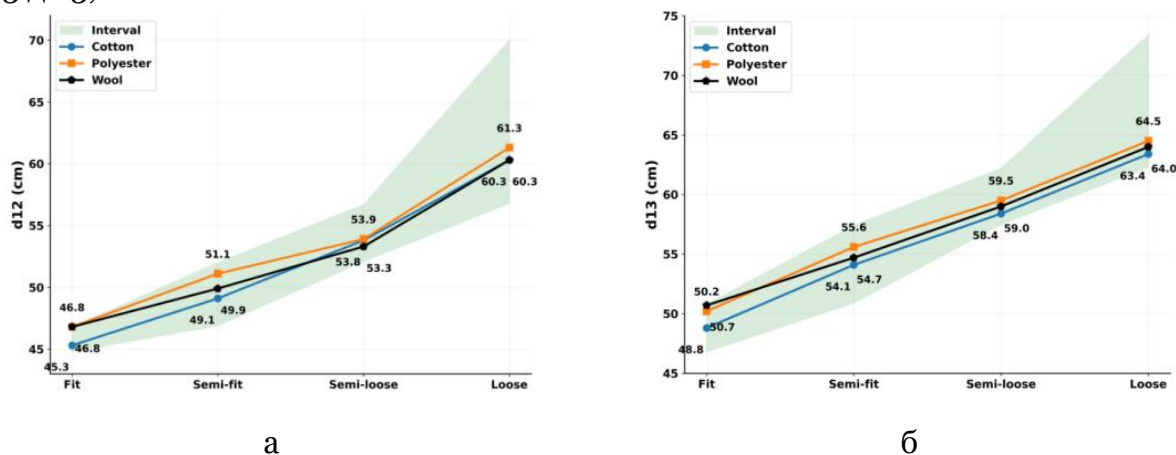


Рис. 4 - Проекционные параметры объёмно-силуэтных форм пальто из разных материалов АИС (cotton. polyester, wool): а - на уровне обхвата груди d_{12} ; б-на уровне локтя d_{13}

Сравнение трёхмерной симуляции и генерации с помощью нейронной сети. Установлены взаимодополняющие характеристики двух подходов: трёхмерная симуляция обеспечивает структурную идентичность, явную связь с чертежами и интерпретируемость отклонений. Генерация с помощью искусственного интеллекта обеспечивает более высокую точность воспроизведения проекционных параметров (особенно для рукавов) и более близкое соответствие силуэту реального пальто. Предложен комплементарный алгоритм, в котором трёхмерная симуляция используется для проверки чертежей и структурного анализа, а ИИ-генерация – для быстрой визуализации и маркетинговых целей.

Идентификация дефектов посадки. Исследованы четыре категории дефектов, возникающих на ИИ-сгенерированных изображениях, относящиеся к балансам стана и рукава, согласованию рукава и руки, возникновению складок. Проверка способности нейронной сети идентифицировать и устранять дефекты была выполнена путем повторных итераций, начиная с изображения с максимальным количеством дефектов, и заканчивая изображением с их полным отсутствием. Была разработана итеративная стратегия коррекции на основе уточнённых запросов. Для выбранного дефектного образца (исходные показатели: $(d_F + d_B)/2 = 5,5$ см, $(\angle F + \angle B)/2 = 126^\circ$, 4 складки, $|a-b| = 0,5$ см) после целевой коррекции все показатели были улучшены: $(d_F + d_B)/2 = 2,3$ см, $(\angle F + \angle B)/2 = 94^\circ$, 1 складка, $|a-b| = 0,2$ см, при этом целевая объёмно-силуэтная форма сохранилась. Таким образом, была доказана возможность управления и устранения дефектов не сгенерированных изображениях путем включения в промпты разработанной номенклатуры показателей и критериев.

В пятой главе проведена двухуровневая проверка предложенных алгоритмов - прямого и обратного проектирования - и оценка их инженерной эффективности.

Прямой алгоритм (от чертежей к форме). По усовершенствованной технологии проектирования из 34 этапов, включающих построение базового прототипа, корректировку наклона плечевых линий и положение боковых линий, построение трёхшовного рукава с контролем значений формообразующих параметров в оптимальных диапазонах, были построены чертежи, по которым был изготовлен физический образец пальто из шерстяной ткани (состав волокон, %): 60 шерстяное, 20 вискозное, 20 полиэфирное. Параллельно было сгенерировано виртуальное пальто по алгоритму из разд.4. Сравнение форм виртуального и физического пальто показало их высокую согласованность: отклонения линейных параметров не превысили $\pm 0,7$ см, а угловых $\pm 0,6^\circ$.

Обратный алгоритм (от фотографии к чертежам). В качестве целевого объекта была выбрана фотография пальто реглан Semi-loose формы и несколькими дефектами посадки. На фотографии были измерены параметры, непосредственно управляемые с помощью параметров чертежей (см. уравнения (1-4)).

По регрессионным уравнениям (1-4) были рассчитаны параметры, использованные для построения и корректировки чертежей. На рис. 5 показаны схемы параметризации выбранного пальто с дефектами (складки обозначены овалами), воспроизведение и корректировка чертежей и изготовленное пальто. Очевидно улучшение внешнего вида пальто: количество складок снижено с 4 до 0, $(d_F + d_B)/2$ – с 4,9 до 2,0 см, $(\angle F + \angle B)/2$ – со 109,5 до $91,3^\circ$, $|a-b|$ – с 1,5 см до 0.

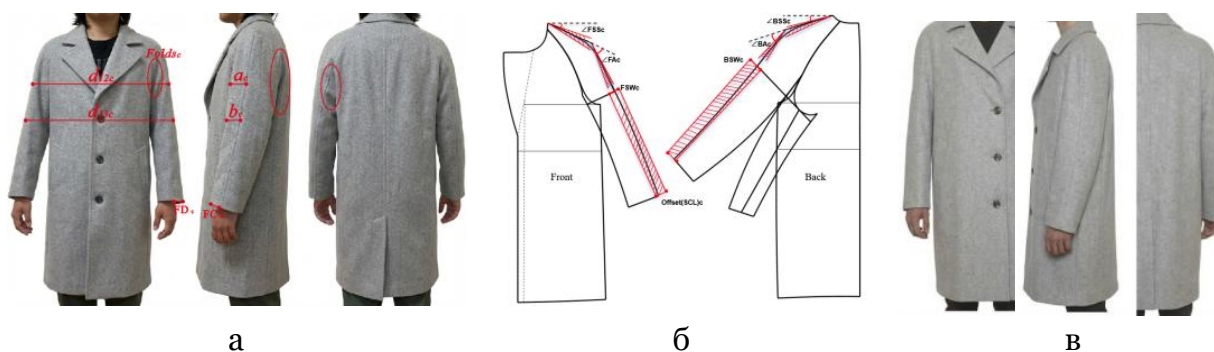


Рис. 5 - Проверка обратного алгоритма проектирования пальто покроя реглан: а - внешний вид исходного пальто с дефектами; б - реконструированные чертежи полочки, спинки и рукава с указанием диапазонов, в котором должны быть расположены ключевые конструктивные параметры; в - внешний вид пальто после корректировки

Инженерная эффективность. Сравнение предложенного метода построения чертежей пальто с традиционным, включающим корректировку чертежей после физической примерки для прямой задачи конструирования, показало его эффективность. Количество операций корректировки сократилось на 42 % (с 12 до 7); общее время разработки, включая построение чертежей и корректировку после примерки, сократилось на 51 % (с 43 до 21 часа); стоимость

разработки первого образца снизилась на 38 %. Промышленная проверка, проведенная на двух предприятиях, подтвердила технологичность изготовления и достижение проектируемой объемно-силуэтной формы.

Таким образом, поставленная цель сокращения сроков подготовки новых моделей пальто покроя реглан к промышленному производству и улучшения их качества достигнута благодаря применению полученных результатов.

ИТОГИ ВЫПОЛНЕННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

1. Усовершенствована технология цифрового проектирования мужских пальто покроя реглан, объединяющая параметрическое конструирование чертежей, трёхмерную виртуальную примерку и генерацию 2D и 3D изображений в рамках единой системы проекционных параметров, включающая базы знаний, относящиеся к фигурам, чертежам конструкций деталей, объемно-силуэтной форме пальто, и базы правил, относящиеся к критериям посадки.

2. Разработан и практически подтверждён прямой алгоритм проектирования чертежей пальто покроя реглан, основанный на использовании регрессионных уравнений, объединяющих установленные интервалы параметров чертежей и объемно-силуэтных форм пальто с заданными показателями посадки с сокращением количества примерок и снижением оценочной стоимости разработки на 38 %.

3. Разработан и верифицирован обратный алгоритм проектирования от изображения пальто к чертежам на основе идентификации объемно-силуэтной формы пальто, выполнения обратного расчёта параметров чертежей и их целевой коррекции, с последующей генерацией скорректированных чертежей, исключающих появление дефектов посадки.

4. Впервые разработан и верифицирован комплекс количественных критериев для объективной оценки посадки стана, пальто покроя реглан и группировки объемно-силуэтных форм, позволивший достичь 95% уровень качественных пальто в широком диапазоне размеров.

5. Проведен корреляционный анализ чертежей пальто покроя реглан, позволивший выделить ключевые параметры для управления показателями объемно-силуэтной формы.

6. Разработана и экспериментально подтверждена мультимодальная стратегия использования нейронных сетей для ИИ-генерации высокоточных изображений фигур и пальто. Средняя абсолютная относительная ошибка MAPE для ИИ-генерируемых изображений пальто составила 2,8 %, что значительно ниже 7,6 % в случае 3D симуляции на основе чертежей. Отличия между изображениями реальных фигур и фигур, генерируемых нейронной сетью, не превышают $\pm 1,0$ см и $\pm 2,5$ °. Стратегия выступает в качестве универсального измерительного интерфейса, обеспечивающего количественную сопоставимость реальных объектов, 3D моделей и изображений, генерируемых нейронными сетями.

7. Предложен комплементарный алгоритм «трёхмерная симуляция + нейронная сеть» для цифрового проектирования пальто с рукавом реглан. 3D симуляция обеспечивает структурную идентичность, имеет непосредственную

связь с чертежами, а нейронные сети обеспечивают более высокую точность воспроизведения проекционных параметров и более точное соответствие силуэта реальным образцам.

8. Подтверждена инженерная эффективность и промышленная реализуемость разработанной технологии. Положительные акты производственных испытаний от Polargoose Clothing Co., Ltd (Китай) и открытого акционерного общества «Сударь» (Россия) подтверждают технологичность изготовления и сокращают общее время разработки на 51,2 %.

РЕКОМЕНДАЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

1. Результаты работы рекомендуются к внедрению на предприятиях лёгкой промышленности для совершенствования процесса разработки моделей верхней одежды и в учебный процесс подготовки бакалавров и магистров по направлению «Конструирование изделий лёгкой промышленности».

2. Перспективным направлением является расширение разработанной технологии на другие виды плечевой одежды (пиджаки, куртки) и другие покрои рукавов, а также интеграция с САПР для создания модулей автоматизированного построения и диагностики лекал.

3. Методология генерации изображений с помощью нейронных сетей может получить развитие в создании динамических 4D двойников, учитывающих поведение материала и изменение формы пальто в движении, разработке методов реверсивного инжиниринга для автоматической генерации чертежей на основе изображений одежды.

ПУБЛИКАЦИИ, ОТРАЖАЮЩИЕ ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

в изданиях, входящих в перечень рецензируемых научных изданий:

1. Кузьмичев, В.Е. Применение искусственного интеллекта в индустрии моды / В.Е. Кузьмичев, Цзя Шуан, Инь Чжидуань // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. – 2025. – № 3 (417). – С. 66–78. – [DOI 10.47367/0021-3497_2025_3_66](https://doi.org/10.47367/0021-3497_2025_3_66). 0,51 п.л./0,3 п.л.

2. Цзя Шуан. Алгоритм сравнительного анализа базовых чертежей конструкций для мужской одежды / Цзя Шуан, В.Е. Кузьмичев // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. – 2025. – № 2 (416). – С. 205–215. – [DOI 10.47367/0021-3497_2025_2_205](https://doi.org/10.47367/0021-3497_2025_2_205). 0,69 п.л./0,5 п.л.

в материалах конференций и других научных изданиях:

3. Цзя Шуан. Антропометрическое обоснование градации лекал / Цзя Шуан, В.Е. Кузьмичев // Молодые учёные – развитию национальной технологической инициативы (ПОИСК – 2024) : сборник материалов национальной (с международным участием) молодёжной научно-технической конференции. – Иваново : Ивановский государственный политехнический университет, 2024. – С. 735–739. 0,31 п.л./0,2 п.л.

4. Цзя Шуан. Оптимизация и валидация чертежей пальто покроя реглан / Цзя Шуан, В.Е. Кузьмичев // Молодые учёные – развитию национальной технологической инициативы (ПОИСК – 2025) : сборник материалов национальной (с международным участием) молодёжной научно-технической конференции. – Иваново : Ивановский государственный политехнический университет, 2025. – С. 530–534. 0,38 п.л./0,2 п.л.

5. Цзя Шуан. 2,5D-система проекционных параметров для оценки точности формы пальто покроя реглан, сгенерированных с использованием ИИ / Цзя Шуан, В.Е. Кузьмичев // Молодые учёные – развитию национальной технологической инициативы (ПОИСК – 2026) : сборник материалов национальной (с международным участием) молодёжной научно-технической конференции. – Иваново: Ивановский государственный политехнический университет, 2026. – С.683-687. 0,31 п.л./0,25 п.л.

6. Цзя Шуан. Сравнительный анализ прототипов рукава реглан/ Цзя Шуан, В.Е. Кузьмичев // Молодые учёные – развитию национальной технологической инициативы (ПОИСК – 2026): сборник материалов национальной (с международным участием) молодёжной научно-технической конференции. – Иваново : Ивановский государственный политехнический университет, 2026. – С.666-673. 0,88 п.л./0,7 п.л.

Подписано в печать 03.07.2026.

Формат 60×84 1/16. Печать плоская.

Условных печатных листов 1,05. Тираж 80 экз.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ивановский государственный политехнический университет»

153000, город Иваново, Шереметевский проспект, дом 21.