

ИВАНОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

На правах рукописи



Цзя Шуан

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ
МУЖСКИХ ПАЛЬТО ПОКРОЯ РЕГЛАН**

Диссертация
на соискание учёной степени кандидата технических наук

Научная специальность 2.6.16. Технология производства изделий текстильной и легкой промышленности

Научный руководитель - доктор
технических наук, профессор
В.Е.Кузьмичев

Иваново – 2026

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|--|-----------|
| ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ | 5 |
| ВВЕДЕНИЕ | 10 |
| 1. ОБЗОР ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ИНЖЕНЕРНЫХ ПРОБЛЕМ В ПРОЕКТИРОВАНИИ ПАЛЬТО ПОКРОЯ РЕГЛАН | 11 |
| 1.1. Применение 3DСАПР в проектировании одежды | 12 |
| 1.2. Применение искусственного интеллекта в одежде | 21 |
| 1.2.1. Применение ИИ в виртуальной примерке | 21 |
| 1.2.2. Проблемы применения ИИ | 27 |
| 1.3. Инженерные аспекты построения лекал рукава реглан | 28 |
| 1.3.1. Методы построения лекал пальто покроя реглан | 29 |
| 1.3.2. Существующие исследования по проектированию лекал рукава реглан | 32 |
| 1.3.3. Критерии оценки посадки пальто с рукавом реглан | 37 |
| 1.3.4. Существующие проблемы проектирования лекал | 44 |
| 1.4. Основная цель и задачи исследования | 45 |
| 2. ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ | 49 |
| 2.1. Объекты исследования | 49 |
| 2.2. Цифровой рабочий процесс и программная среда | 54 |
| 2.3. Количественная схема системы «фигура + пальто» | 57 |
| 2.3.1. Геометрическая параметризация системы «фигура + пальто» | 57 |
| 2.3.2. 2.5D проекционные параметры системы «фигура + пальто» | 61 |
| 2.3.3. Унифицированная измерительная схема | 65 |
| 2.3.4. Методы статистического анализа | 67 |
| 2.4. Критерии оценки | 69 |
| 2.4.1. Критерии посадки стана | 70 |
| 2.4.2. Критерии формы рукава | 73 |
| 2.4.3. Группировка объемно-силуэтных форм пальто реглан | 82 |
| 2.4.4. Стандартизированный мультимодальный протокол ИИ-генерации для системы «фигура + пальто» | 88 |
| Заключение по главе 2 | 95 |

| | |
|--|-----|
| 3. РАЗРАБОТКА И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ПАЛЬТО РЕГЛАН | 96 |
| 3.1. Базовые прототипы стана | 96 |
| 3.1.1. Выбор базовых прототипов стана | 96 |
| 3.1.2. Совершенствование базового прототипа стана | 98 |
| 3.2. Прототип рукава реглан | 103 |
| 3.2.1. Сравнение прототипов рукава реглан | 103 |
| 3.2.2. Усовершенствование прототипа рукава реглан | 106 |
| 3.3. Разработка конструкции пальто | 109 |
| 3.3.1. Оценка упрощенного условия виртуальной примерки | 110 |
| 3.3.2. Весовой анализ конструктивных параметров | 112 |
| 3.3.3. Проверка влияния ключевых конструктивных параметров на форму пальто | 118 |
| 3.3.4. Регрессионная оптимизация для улучшения формы | 126 |
| Выводы по главе 3 | 130 |
| 4. ЦИФРОВИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПАЛЬТО РЕГЛАН НА ОСНОВЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА | 132 |
| 4.1. Общая система цифровизации на основе искусственного интеллекта | 132 |
| 4.2. Генерация и проверка изображений, созданных ИИ | 133 |
| 4.2.1. Проверка точности генерации AIB | 133 |
| 4.2.2. Генерация и проверка системы «пальто + фигура» | 137 |
| 4.3. Проверка способности ИИ генерировать объёмно-силуэтные формы из разных тканей | 142 |
| 4.3.1. Генерация ИИ-пальто с различными объёмно-силуэтными формами | 142 |
| 4.3.2. Влияние вида ткани на AI-сгенерированные силуэты пальто | 145 |
| 4.4. Сравнение результатов 3D-симуляции и AI-генерации | 147 |
| 4.5. Идентификация и устранение дефектов посадки | 151 |
| Выводы по главе 4 | 154 |
| 5. ПРОВЕРКА И ИНЖЕНЕРНОЕ ПРИМЕНЕНИЕ ПРЕДЛОЖЕННОГО МЕТОДА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПАЛЬТО С РУКАВОМ РЕГЛАН | 156 |
| 5.1. Проверка алгоритма прямого проектирования | 157 |

| | |
|--|-----|
| 5.1.1. База данных для построения чертежей | 157 |
| 5.1.2. Алгоритм прямого построения лекал | 158 |
| 5.1.3. Изготовление физического образца | 164 |
| 5.1.4. Проверка двух методик конструирования | 165 |
| 5.2. Проверка алгоритма обратного построения лекал | 167 |
| 5.2.1. Объект для обратного алгоритма | 167 |
| 5.2.2. Алгоритм обратной генерации чертежей | 168 |
| 5.2.3. Виртуальная и физическая проверка | 171 |
| 5.3. Оценка инженерной эффективности на этапе подготовки производства | 174 |
| Выводы по главе 5 | 176 |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ | 178 |
| РЕКОМЕНДАЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШИХ ИССЛЕДОВАНИЙ | 179 |
| УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ | 180 |
| СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ | 185 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ А. Дополнительные материалы по построению, параметризации и проверке чертежей конструкции пальто реглан | 199 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ В. Результаты проверки точности и устойчивости ИИ-генерации системы «фигура + пальто» | 220 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ С. Материалы по проверке и оценке эффективности предложенного метода проектирования пальто с рукавом реглан | 230 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ Д. Акты производственной проверки предложенного метода проектирования пальто реглан | 234 |

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 предъявляются 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, Ивановского государственного политехнического университета (В.Е. Кузьмичев, Ся Пэн, Ло Юнь, Ли Юэ, Ян Цзяци, Ван Сида 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 (АССОЛЬ, 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 РФФИ № 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 фигуре.

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 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 посадки, позволяющие перейти от эмпирического прогнозирования к точному расчёту.

3. Обоснована эффективность генерации изображений мужских фигур и пальто покроя реглан 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 198 страниц машинописного текста, 37 страниц приложений, включая 77 рисунков и 50 таблиц. Оригинальность текста диссертации составляет 97,45 %.

ВВЕДЕНИЕ

В условиях цифровой трансформации швейной промышленности традиционный процесс художественного и технического проектирования одежды, постепенно перемещаются в виртуальную среду проектирования. Мужское пальто покроя реглан относится к изделиям повышенной конструктивной сложности, а его итоговая форма зависит от согласованного взаимодействия линии плеча, области проймы, конструкции рукава, морфологии фигуры и внешнего силуэта. Поэтому проектирование мужских пальто покроя реглан требует высокопрофессиональных знаний, позволяющих одновременно управлять структурой лекал и трёхмерной формой пальто.

Благодаря развитию трёхмерной виртуальной примерки, параметрического построения лекал, цифровой антропометрии и искусственного интеллекта созданы новые технические условия для проектирования конструкции одежды и проверки результатов до изготовления физического образца. Системы трёхмерного автоматизированного проектирования позволяют моделировать лекала одежды на виртуальной фигуре, а технологии искусственного интеллекта способны генерировать визуальные изображения систем «фигура–одежда». Для использования этих цифровых результатов в инженерном проектировании одежды профессиональные знания в области антропометрии, проектирования лекал, оценки формы одежды, виртуальной примерки и ИИ-визуализации должны быть преобразованы в измеримую, сопоставимую и проверяемую систему параметров.

Однако существующие исследования всё ещё ограничены разобщённостью технических инструментов, неоднородностью критериев оценки, недостаточной связью между параметрами лекал и итоговой формой изделия, отсутствием количественной проверки изображений одежды, сгенерированных с помощью искусственного интеллекта.

Целью настоящего исследования является разработка технологии цифрового проектирования мужских пальто покроя реглан на основе интеграции параметрического построения лекал, трёхмерной виртуальной примерки и генерации изображений с помощью искусственного интеллекта. Данная цель достигается путём создания антропометрической базы данных мужских фигур на основе 2,5D проекционных параметров, разработки количественных критериев оценки посадки и объёмно-силуэтной формы, построения регрессионных зависимостей между параметрами лекал и параметрами формы, разработки мультимодальных запросов для генерации изображений систем «фигура–пальто», а также проверки прямого и обратного алгоритмов проектирования в условиях китайского и российского швейного производства.

ГЛАВА 1. ОБЗОР ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ИНЖЕНЕРНЫХ ПРОБЛЕМ В ПРОЕКТИРОВАНИИ ПАЛЬТО ПОКРОЯ РЕГЛАН

По мере развития трёхмерного (3D) и виртуального моделирования на основе систем САПР традиционный рабочий процесс «построение лекал + проверка на реальном образце» преобразуется в параллельную систему «моделирование +цифровая генерация» [7,8]. Трёхмерная виртуальная примерка, основанная на лекалах, обеспечивает получение воспроизводимых результатов, что позволяет быстро корректировать и оптимизировать чертеж конструкции в соответствии с заданным силуэтом [9]. Кроме того, развитие искусственного интеллекта (ИИ) создало новое направление для проектирования и инженерной разработки одежды. На основе мультимодальных входных данных ИИ может быстро генерировать внешний вид одежды на уровне изображения и обеспечивать контроль внешнего силуэта, применимый к различным условиям генерации [10,11].

Однако оба цифровых подхода сталкиваются с важной проблемой: в виртуальной среде все еще трудно с высокой точностью восстановить и контролировать систему «тело человека + одежда». Отсутствие единой, воспроизводимой и количественно сопоставимой системы измерений затрудняет проверку структурной и силуэтной согласованности между физической примеркой, 3D-моделированием и результатами, сгенерированными ИИ, в рамках одной шкалы оценки. В результате различия между виртуальными и реальными результатами остаются трудными для выявления, измерения и объяснения с учетом конкретных конструктивных факторов [12]. Эта проблема особенно выражена в изделиях верхней одежды. Качество верхней одежды зависит не только от локальной посадки, но в большей степени от устойчивости объемного силуэта и согласованности ключевых конструктивных зон. В связи с этим цифровые результаты могут выглядеть визуально правдоподобными, но при этом не соответствовать требованиям количественной проверки, воспроизводимости и готовности к практическому производству [13,14].

Рукав реглан характеризуется непрерывным соединением рукава и стана изделия, что требует точного согласования плечевой линии, линии проймы и внешнего силуэта системы «рукав + стан изделия» [1,2]. Даже незначительные изменения во взаимосвязанной конструкции лекал, включая плечевую линию, линию проймы, среднюю линию рукава и подмышечную область, могут непосредственно влиять на баланс изделия и внешний вид рукава [3]. В промышленной практике методы построения рукава реглан существенно различаются [4]. Даже при одинаковых размерных характеристиках различия в

методах построения лекал и цифровых маршрутах могут приводить к заметным изменениям формы рукава, тем самым влияя как на точность посадки, так и на устойчивость силуэта [5,6].

Для решения указанных проблем в данном исследовании разрабатывается цифровая система проектирования мужского пальто с рукавом реглан путем интеграции проектирования на основе лекал, 3D-виртуальной примерки и генерации одежды с использованием ИИ. Данная система выходит за рамки традиционного построения лекал и оценки посадки и включает разработку виртуальной одежды, сопоставительную проверку формы между различными цифровыми маршрутами, генерацию силуэта на основе ИИ и параметрическое управление конструкцией лекал. В соответствии с этим настоящая глава рассматривает литературу в четырех последовательных направлениях. Во-первых, анализируется применение 3DCAПР и виртуальной примерки в проектировании одежды с акцентом на их преимущества и сохраняющиеся ограничения при проверке изделий верхней одежды. Во-вторых, рассматривается развитие ИИ в генерации одежды и виртуальной примерке. В-третьих, обсуждаются инженерные особенности, методы построения лекал и проблемы оценки рукава реглан, который является основным конструктивным объектом настоящего исследования. Наконец, определяются основные исследовательские пробелы, цели и техническая схема диссертации.

1.1. Применение 3DCAПР в проектировании одежды

В проектировании одежды широкое применение получили платформы виртуального проектирования и примерки, такие как Style3D, CLO3D, OptiTex, Browzwear и MarvelousDesigner. Эти системы используют двумерные (2D) лекала в качестве исходных данных и после задания цифровой фигуры, позы и свойств материала формируют виртуальные изделия и результаты виртуальной примерки, воспроизводимые при одинаковых условиях. Помимо визуализации изделий, 3DCAПР обеспечивает среду, основанную на лекалах, в которой форма изделия, взаимодействие изделия с телом и локальные конструктивные проблемы могут многократно наблюдаться и корректироваться. Это особенно важно для верхней одежды с взаимосвязанными конструктивными зонами, такими как область плеча, проймы, рукава и стана изделия.

Качество современных 3D-симуляций по-прежнему ограничивается точностью цифровой фигуры, калибровкой параметров материала, настройкой позы и отсутствием единых критериев оценки. В результате результаты примерки, полученные на разных платформах или при различных конфигурациях параметров, могут демонстрировать заметные расхождения. По этой причине виртуальная

3D-примерка остается важным, но еще не полностью завершенным рабочим процессом для проектирования и проверки мужских пальто с рукавом реглан.

Развитие виртуальной примерки рассмотрено с четырех позиций: цифровые антропометрические базы данных и цифровые фигуры, 3D-виртуальная примерка на основе лекал и взаимодействие изделия с фигурой, параметризация тканей и моделирование материалов и стандарты цифровизации одежды.

Цифровые антропометрические базы данных и цифровые фигуры. Они содержат основные данные о теле человека. На основе 3D-сканирования тела и антропометрических измерений могут быть построены цифровые аватары различных типов телосложения. Надежность виртуального моделирования зависит от состава базы данных, точности определения антропометрических ориентиров, классификации телосложения и реконструкции локальных анатомических областей. Это особенно важно для участков фигуры со сложной локальной геометрией, таких как плечо и подмышечная область, где локальные ошибки цифровой фигуры могут непосредственно влиять на результаты моделирования одежды и оценку формы.

Построение цифровых фигур зависит от способа получения надежных 3D-данных и извлечения антропометрической информации. Предыдущие исследования показали, что 3D-сканирование, параметрическое моделирование, реконструкция на основе изображений и мобильное сканирование тела могут использоваться для создания цифровых аватаров и извлечения ключевых размерных признаков, необходимых для проектирования одежды и разработки индивидуальных лекал [61-63]. Эти методы повышают доступность и охват данных о теле, особенно для нестандартных типов телосложения. Однако ошибки измерений все еще могут возникать в областях с высокой изменчивостью кривизны, таких как шейно-плечевая область, грудо-спинная область и верхняя часть руки. Поэтому точная коррекция на основе антропометрических ориентиров остается необходимой для стабилизации критически важных измерений в анатомически сложных областях, таких как плечо и подмышечная область.

3D-антропометрическая информация также используется для классификации фигур. Sun и соавт. классифицировали морфологию верхней части торса, количественно охарактеризовали шейно-плечевые признаки и ввели пространственные морфологические дескрипторы для поддержки оптимизации лекал, анализа посадки и структурной адаптации [64,65,67]. Эти исследования показывают, что 3D-данные используют не только для моделирования, но и для группировки типов телосложения. В частности, классификация и параметризация плечевой области обеспечивают данные и методические ориентиры для формирования системы «рукав — рука».

Дальнейшее направление исследований связано с точным определением антропометрических ориентиров тела, сегментацией участков тела и реконструкцией цифровых моделей человека. Исследования Chen и соавт. и Ryu и соавт. улучшили распознавание ориентиров за счет анализа геометрических признаков и автоматизированных методов распознавания антропометрических ориентиров, включая распознавание сложных зон, таких как подмышечная область [66,68]. Chi и соавт. объединили данные сканирования, ручные измерения, экспертную коррекцию и семантическую информацию для повышения точности реконструкции и создания более надежных 3D-моделей тела [64,69-71]. Эти результаты показывают, что точность определения ориентиров напрямую влияет на точность цифровой фигуры, надежность последующей разработки лекал и результатов виртуальной примерки. На рисунке 1.1 показаны идентификация, сегментация и реконструкция антропометрических ориентиров тела человека, а также корректировка базовой конструкции изделия на основе ориентиров тела.

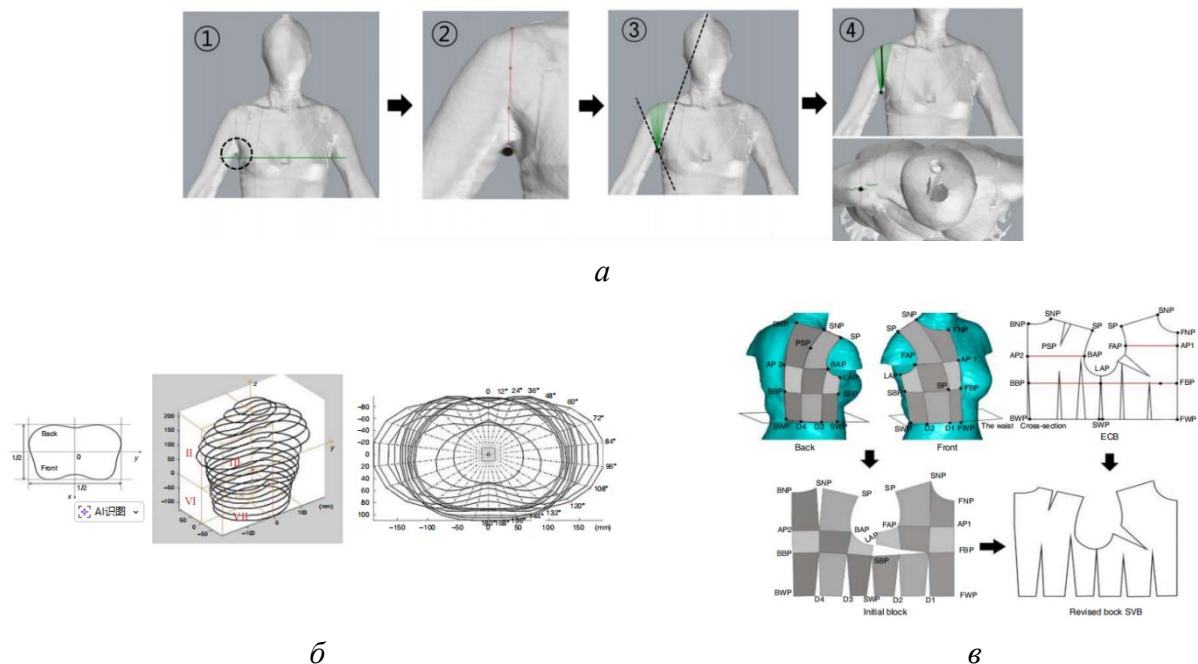


Рисунок 1.1- Идентификация, сегментация и реконструкция ориентиров тела: *а*- процесс поиска линии проймы и плечевой точки [68]; *б* - сечение тела в системе 3D-координат; *в* - параметрическое построение лекал по схеме 3D–2D [70]

Многие исследования также применяли 3D-распознавание ориентиров, сегментацию и реконструкцию для параметрического построения лекал и создания моделей формы изделия. В этих исследованиях геометрия реконструированной цифровой фигуры рассматривается уже не только как результат моделирования тела, но и как геометрическая основа для построения конструкций одежды и

2D-лекал. Kulińska и соавт., а также Вао и соавт. извлекали ориентиры цифровой фигуры, разделяли фигуру на участки, развёртывали 3D-поверхность на плоскость [72,73]. Zhang и соавт. описывали прибавки на свободу облегания и силуэт изделия непосредственно в 3D-среде, а затем использовали геометрические параметры для создания моделей одежды разных размеров и стилевых вариантов [74,75]. Huang и соавт. предложили трехэтапный метод интеллектуального построения лекал, объединяющий параметризацию цифровой фигуры, распределение прибавок, 3D-моделирование одежды и развёртку 3D-конструкции в 2D-лекала. Их эксперименты показали практический потенциал данного подхода [76].

На рисунке 1.2 показан маршрут обратного проектирования 3D-2D, используемый для параметрического построения лекал одежды, при котором 2D-лекала получают на основе 3D-модели тела человека с прибавками на свободу облегания или без них.

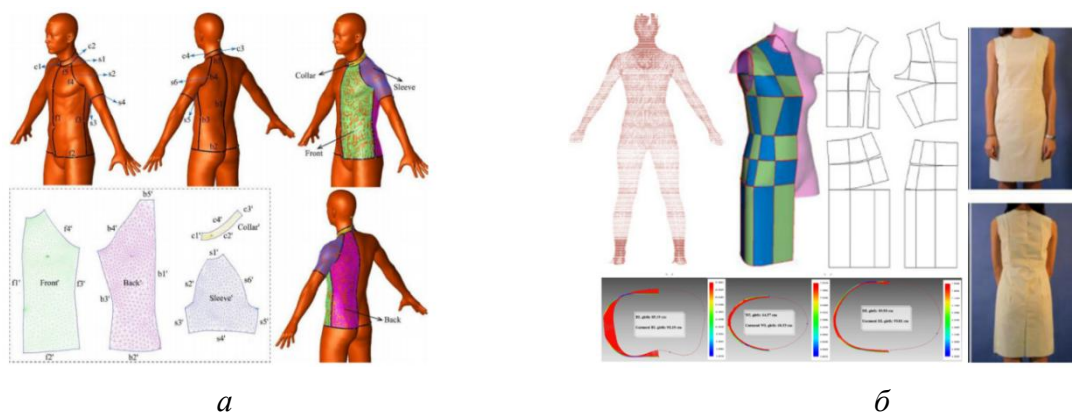


Рисунок 1.2- Параметрическое построение лекал одежды по схеме 3D–2D: *а*- параметрическое построение лекал без прибавок на свободу облегания [59]; *б*- параметрическое построение лекал с прибавками на свободу облегания по обхватам груди, талии и бедер, полученными на основе анализа поперечных сечений [60].

В целом цифровые антропометрические базы данных обеспечивают информационную основу для виртуальной примерки, оценки посадки и параметрической разработки одежды. Однако охват базы данных и точность цифровой фигуры остаются важными ограничивающими факторами. В частности, в геометрически чувствительных областях, таких как плечо и подмышечная область, локальные ошибки цифровой фигуры могут переходить в ошибки сопряжения проймы и отклонения формы рукава, тем самым снижая надежность последующих результатов виртуальной примерки.

3D-виртуальная примерка на основе лекал и взаимодействие изделия с фигурой. После построения цифровых фигур они могут быть интегрированы с 2D-лекалами в единой виртуальной среде для 3D-виртуальной примерки на основе лекал. В этом процессе конструкция изделия, распределение прибавок на свободу облегания, контакт изделия с телом и геометрия воздушных зазоров могут наблюдаться, измеряться и итерационно корректироваться в контролируемых условиях. Исследования Sun и соавт. показали, что 3D-разработка виртуальной одежды может поддерживать многоэтапный рабочий процесс от проектирования до оценки, а также использоваться для сравнения расхождений между результатами виртуальной примерки и физическими изделиями [61,77,78].

Типичный рабочий процесс 3D-виртуальной примерки включает шесть этапов: построение цифровой фигуры, ввод 2D-лекал, цифровое сшивание, задание параметров материала, симуляцию примерки и получение результатов оценки посадки. На начальном этапе выбирают или создают цифровую фигуру, выбирают исходную позу и условия просмотра. Затем импортируют или строят 2D-лекала с указанием связей сшивания, иерархии слоев и ключевых конструктивных точек. После этого задают параметры материала, после чего проводится статическая симуляция примерки при одинаковой позе и одинаковых условиях просмотра, чтобы получить сопоставимые виртуальные образцы и результаты оценки в унифицированных условиях.

Этот процесс обычно дает две категории результатов: геометрические результаты, связанные с формой, и симуляционные результаты, связанные с посадкой. Геометрические результаты, связанные с формой, включают контуры объемно-силуэтной формы, ключевые поперечные сечения и распределение воздушных зазоров, которые описывают общий объемно-силуэтный облик изделия и локальное распределение прибавок. Wang и соавт. измеряли прибавку на свободу облегания непосредственно в 3D-цифровой среде, установили связи между 2D-лекалами и 3D-геометрией рукава, а также проанализировали взаимосвязь между воздушным зазором и шириной рукава при различных условиях материала [79,80,82]. Эти исследования показали, что геометрические измерения могут обеспечивать прямую обратную связь для корректировки лекал и связывать параметры лекал с формируемым пространством между телом и изделием. На рисунке 1.3 показана пространственная взаимосвязь между 3D-формой изделия, телом человека и исходными 2D-лекалами с особым акцентом на распределении воздушных зазоров и прибавках на свободу облегания.

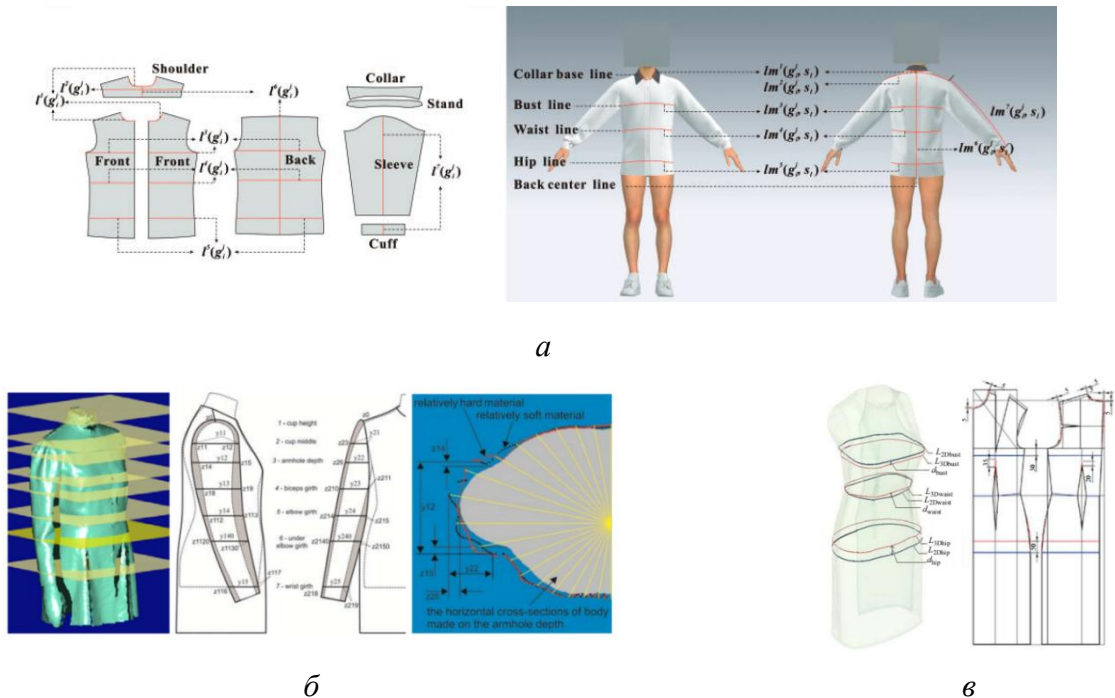


Рисунок 1.3 - Взаимосвязь между 3D-формой, телом и лекалами: *а* - измерение прибавок на свободу облегания в 3D-цифровой среде [82]; *б* - параметризация системы «рука + рукав»; *в* - 3D-визуализация прибавок на свободу облегания между 2D-лекалами и 3D-формой [81]

Симуляционные результаты, связанные с посадкой, включают распределение деформации, внутреннего натяжения, давления, контактных сил и состояний контакта, что помогает выявлять участки с чрезмерным натяжением, ограничением движения или концентрацией складок. Исследования Jing и соавт. показали, что такие симуляционные показатели можно использовать для оценки влияния конструктивных параметров на комфорт, внешний вид изделия, стратегию корректировки лекал, направленные на согласование комфорта и внешнего вида [82–84]. Однако, несмотря на полезность этих показателей в рамках конкретной программной среды, их определения и выходные результаты по-прежнему в значительной степени зависят от платформы моделирования и настроек параметров. На рисунке 1.4 показан пример 3D-оценки посадки, представленный в предыдущих исследованиях, в котором силы взаимодействия изделия с телом анализируют в статических и динамических условиях.

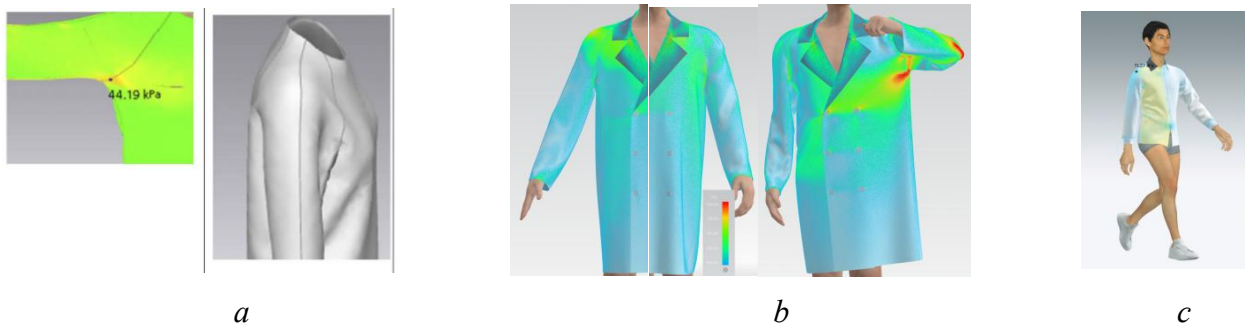


Рисунок 1.4 - Проверка посадки в 3D-среде: *а*- влияние точек соединения на форму и посадку рукава реглан [1]; *б, в* - оценка посадки в условиях 3D-динамики [82].

Помимо моделирования отдельных случаев, виртуальная примерка также используется для повышения эффективности крупномасштабных и многовариантных сравнений. Sun и соавт. создали автоматизированный процесс моделирования цифровой фигуры с использованием Rhino и Grasshopper для построения опорных линий, сеток и точек пересечения средней модели тела, что позволило сократить время моделирования и повысить согласованность результатов [64]. Их рабочий процесс показывает, что единая поза, единые условия просмотра и стандартизированный протокол моделирования являются необходимыми для сопоставимости результатов. В то же время Islam и соавт. классифицировали формат выходных данных на одиночные изображения, многопозиционные визуализации и видео, а также отметили, что качество генерации, геометрическая точность и обобщаемость остаются основными проблемами [85]. Их результаты показывают, что без независимого и унифицированного интерфейса оценки опора только на внутренние показатели платформы недостаточна для строгого сравнения различных методов.

В целом, 3D-платформы предоставляют разнообразные визуальные и числовые результаты, но различия между программными средствами, стратегиях обработки результатов, разрешении сетки и определениях параметров означают, что даже одинаковые лекала и настройки материала могут приводить к различным схемам складок и распределениям воздушного зазора. Поэтому результаты, зависящие от конкретной платформы, сами по себе недостаточны для строгой межплатформенной или межметодной проверки. Необходимо создать независимую от платформы систему параметров 2.5D-проекции и соответствующие критерии оценки.

Параметризация тканей и моделирование материалов. Это важнейший компонент 3D-проектирования одежды и виртуальной примерки. Итоговый внешний вид изделия зависит от того, каким образом заданы параметры поведения ткани - растяжение, изгиб и сдвиг. Виртуальные системы могут моделировать внешний вид изделия, включая геометрию драпировки, распределение складок и

состояние посадки. С развитием компьютерной графики и алгоритмов физического моделирования моделирование ткани постепенно перешло от визуализации, основанной на опыте, к физически обоснованному прогнозированию, что повысило воспроизводимость контуров силуэта, морфологии складок и локальной посадки. Основные платформы, такие как CLO и OptiTex, включают модули редактирования параметров ткани и моделирования, поддерживая быстрый итерационный цикл от 2D-лекал к 3D-моделированию одежды и обратной связи по результатам виртуальной примерки.

Преыдушие исследования рассматривали взаимосвязь между параметрами ткани и визуальными результатами с разных точек зрения. Хи и соавт. оценивали точность цифрового представления ткани путем сравнения виртуальных и реальных изделий, использовали информацию о 3D-напряжении и деформации для поддержки конструктивной корректировки и оптимизации посадки, а также разработали регрессионные подходы, связывающие свойства ткани, 2D-лекала и отклонения в результатах 3D-виртуального моделирования одежды. Lagè и соавт. дополнительно объединили виртуальную примерку с технологиями сканирования для сравнения различий во внешнем виде и прибавках между реальными и виртуальными изделиями при различных условиях ткани [86–90].

Для верхней одежды влияние моделирования ткани является еще более значимым. Свойства ткани влияют на устойчивость объемного силуэта и поведение чувствительных зон, таких как плечо, пройма и подмышечная область. В этих зонах характеристики изгиба и сдвига материала напрямую влияют на морфологию воздушного зазора, направление складок и локальную реакцию посадки, тем самым влияя на интерпретацию эффектов параметров лекал и надежность оценки посадки.

Поэтому в исследованиях, направленных на анализ параметров лекал и сравнение различных методов, показатели свойств тканей нельзя рассматривать как второстепенную переменную. Для обеспечения сопоставимости параметры ткани должны строго контролироваться; в противном случае различия между ними могут быть ошибочно отнесены к лекалам.

Стандарты цифровизации одежды. Как показано в предыдущих разделах, надежность результатов 3D-виртуального моделирования одежды зависит от того, могут ли полученные измерения быть определены и интерпретированы единообразно. Поэтому стандарты цифровизации одежды играют важную роль в преобразовании данных о теле и виртуальных результатов в сопоставимые инженерные измерения, используемые для разработки лекал, проверки и межплатформенной оценки. В этом смысле стандарты обеспечивают измерительную основу для связи цифрового моделирования тела, виртуальной примерки и инженерной проверки.

Стандарты цифровизации одежды, как правило, содержат единые требования к определениям антропометрических измерений, обозначению размеров и извлечению данных 3D-сканирования. Эти стандарты обеспечивают преобразование данных о теле в размерную информацию, пригодную для проектирования одежды, при сохранении согласованности и совместимости между различными цифровыми платформами. Для исследований, связанных с точностью лекал и их проверкой, такая стандартизация особенно важна, поскольку даже небольшие различия в определении измерений или извлечении данных могут приводить к расхождениям при последующей проверке цифровой фигуры и анализе виртуальной примерки.

В Китае стандарт GB/T 10000-2023, *HumanBodyDimensions* является антропометрической основой для швейной промышленности [91]. Он в основном ориентирован на измерения, связанные с обхватами, и имеет относительно ограниченный набор проекционных ширин, длин, высот и угловых характеристик. В результате его прямое применение для структурной оценки проекций фигур остается ограниченным, особенно когда целью является проверка точности цифровой фигуры. Международные стандарты, такие как ISO 7250-1:2017 и ISO 20685-1:2018, предлагают более широкий набор антропометрических измерений, тем самым поддерживая более строгую межплатформенную согласованность данных и проверку точности [92].

Однако, несмотря на то что платформы 3D-моделирования способны генерировать полностью 3D результаты, практика разработки одежды по-прежнему широко опирается на фронтальные и профильные виды. По этой причине измерения 2.5D-проекций остаются более совместимыми с практическими процедурами разработки одежды и легче поддаются стандартизации для инженерной оценки. Это особенно важно для настоящего исследования, поскольку видимая форма и структурная согласованность мужских пальто с рукавом реглан в значительной степени оцениваются по фронтальным и профильным силуэтным признакам, а не только по отдельным трехмерным координатам.

Еще одно ограничение связано с диапазоном размерных переменных, предоставляемых существующими цифровыми платформами. Среди 33 входных параметров, используемых в Style3D, только ограниченная часть соответствует проекционным размерам. Российские стандарты мужских размерных признаков тела, такие как ГОСТ 31399-2009, дают более полное определение размеров тела, значимых для проекционной оценки [93]. Поэтому дополнение измерений цифровой платформы российскими проекционными размерными характеристиками может обеспечить точный набор для проверки точности

виртуальной примерки. Такое сочетание повысит сопоставимость результатов между платформами.

В целом стандарты играют фундаментальную роль в цифровизации одежды, поскольку они определяют, могут ли цифровые данные о теле, результаты моделирования и последующие результаты оценки сравниваться на общей основе. По этой причине в настоящем исследовании использована логика измерений, ориентированная на проекции, а параметры 2.5D применяются как стандартизированный и практически применимый интерфейс для последующего анализа, перехода к рассмотрению проблем 3D-приложений.

1.2. Применение искусственного интеллекта в одежде

3D-моделирование, ставшее важным цифровым маршрутом в проектировании одежды, сталкивается с нерешенными проблемами, связанными с адаптивностью цифровой фигуры, моделированием ткани, динамическим взаимодействием и стандартизацией оценки. Эти ограничения способствовали использованию ИИ как параллельного цифрового маршрута в сфере одежды.

Во-первых, ИИ-системы для проектирования одежды и рекомендаций используют базы знаний или генеративные модели для поддержки разработки стилевых решений и персонализированных рекомендаций [94,95]. Во-вторых, методы на основе ИИ направлены на моделирование взаимосвязей между параметрами лекал, антропометрическими измерениями и пользовательскими предпочтениями [96–98]. В-третьих, исследования компьютерного зрения в области распознавания модных изображений и анализа одежды сосредоточены на сегментации одежды, оценке позы человека и обнаружении ключевых точек одежды, которые обеспечивают промежуточные представления для понимания конструкции и синтеза силуэта [99]. В-четвертых, исследования генерации и моделирования одежды включают синтез 2D-примерки, управляемую генерацию на основе диффузионных моделей, нейронное моделирование и другие методы генерации на основе ИИ [100-103].

Ниже рассмотрено применение ИИ для виртуальной примерки с особым акцентом на точность, управляемость и проверку формы одежды.

1.2.1. Применение ИИ в виртуальной примерке

Виртуальная примерка является одной из ключевых областей применения ИИ и направлена на визуализацию посадки реалистичной одежды. Методы виртуальной примерки перешли от традиционного синтеза 2D-изображений к более сложным подходам, таким как 3D-реконструкция. Это развитие значительно

расширило технические возможности визуализации одежды, одновременно сделал более заметными проблемы точности и структурной управляемости. На рисунке 1.5 показаны основные маршруты применения ИИ в виртуальной примерке.

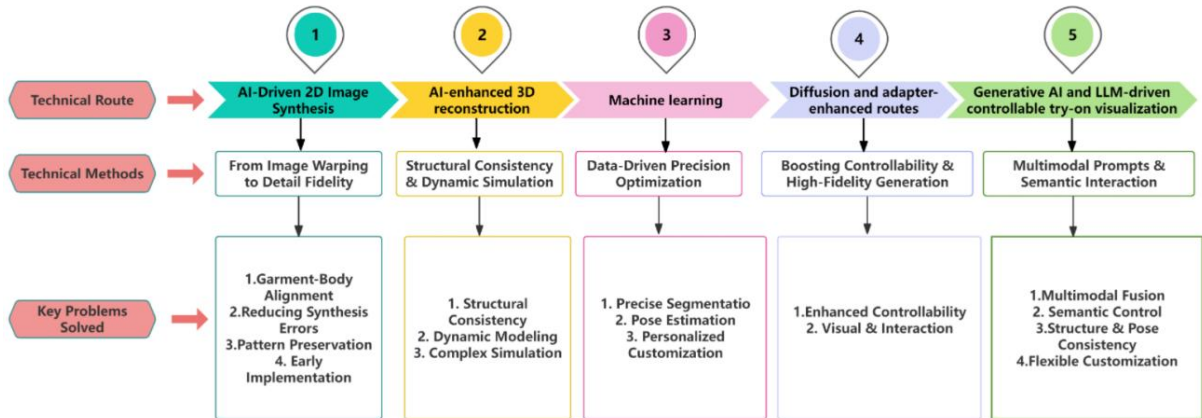


Рисунок 1.5 - Применение ИИ для виртуальной примерки

Как показано на рисунке 1.5, существующие исследования можно разделить на пять основных маршрутов: 2D-синтез изображений на основе ИИ, 3D-реконструкция и нейронное моделирование с усилением ИИ, оптимизация с использованием машинного обучения, методы на основе диффузионных моделей и адаптеров, а также управляемая визуализация на основе генеративного ИИ и больших языковых моделей.

2D-синтез изображений на основе ИИ. Этот маршрут является одним из наиболее широко используемых решений: согласует 2D-изображение одежды с изображением человека посредством сопоставления и деформации изображений, после чего синтезирует соответствующий результат примерки. Ранние методы, такие как VITON, применяли последовательную схему от грубого к точному переносу изделия на изображение целевого человека [104]. Однако при значительных изменениях позы или существенных различиях формы одежды такие методы могут давать неточные результаты, особенно в конструктивно чувствительных областях, таких как линия горловины, пройма и граница рукава. Последующие методы, включая LA-VITON [105] и VTON-HF [106], повысили сохранение формы одежды и точность локальных деталей за счет более точного геометрического сопоставления и многомодульных решений. На рисунке 1.6 показаны различия в форме одежды и точности передачи деталей, полученные при переносе одежды с использованием различных моделей ИИ.



Рисунок 1.6 - Различия в точности передачи деталей 2D-изображений, сгенерированных различными моделями ИИ [104,106]

Данные подходы в значительной степени опираются на перцептивные метрики качества изображения и не обеспечивают прямой измеримой связи с геометрией одежды. В результате сгенерированные изображения примерки могут выглядеть визуально правдоподобными, но при этом не иметь структурных признаков для инженерно ориентированной оценки. Для конструктивно сложной верхней одежды, такой как пальто с рукавом реглан, 2D-синтез изображений может не обеспечивать точного сохранения положения шва реглан, направления рукава или расположения проймы.

3D-реконструкция и нейронное моделирование с усилением ИИ. По сравнению с 2D-синтезом изображений, этот маршрут сосредоточен на согласовании геометрии одежды и динамических характеристик и стремится улучшить структурное соответствие между одеждой и телом при изменении позы и в условиях движения. Например, TailorNet ускоряет прогнозирование деформации одежды с помощью нейронных сетей и может эффективно моделировать изменения одежды при различных позах [108]. На рисунке 1.7 показан пример динамического моделирования с применением ИИ, иллюстрирующий взаимосвязь между конструкцией одежды и движением тела.

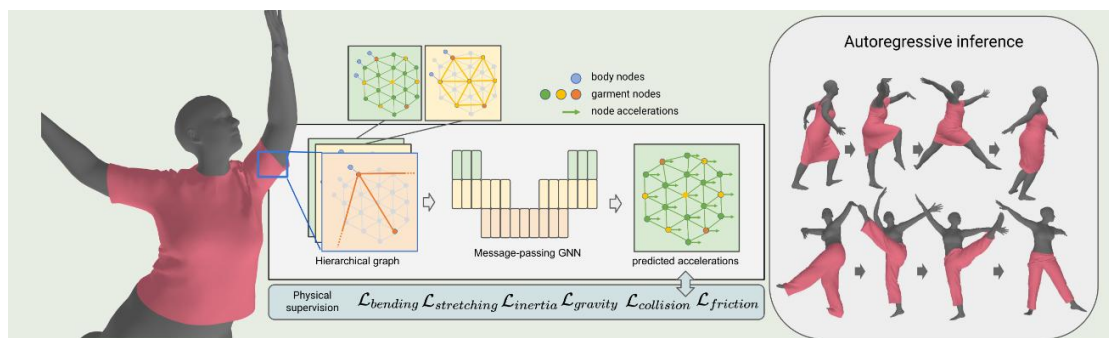


Рисунок 1.7 - Повышение точности динамического моделирования с использованием нейронных сетей [110].

Grigorev и соавт. предложили HOOD, который использует графовые нейронные сети с многоуровневой передачей сообщений для повышения точности динамического моделирования и сохранения естественных структурных изменений во время движения [110]. Manifold-awareTransformer дополнительно улучшает моделирование динамических складок и локальных изменений, повышая поведение, связанное с посадкой, и структурную согласованность в сценариях движения [108].

Однако, несмотря на эти достижения, методы 3D-реконструкции и нейронного моделирования все еще сталкиваются с рядом практических ограничений. К ним относятся необходимость точной калибровки данных, ограниченная обобщаемость для различных изделий и условий тела, трудность обратного отображения предсказанных 3D-результатов на интерпретируемые параметры лекал. Поэтому эти методы еще не полностью решают проблему инженерно ориентированной проверки пальто покроя реглан, поскольку конфигурация «плечо - рукав - стан изделия» требует не только визуальной правдоподобной реконструкции, но и строгих критериев оценки, способных поддерживать структурный анализ и корректировку лекал.

Машинное обучение. Машинное глубокое обучение поддерживает виртуальную примерку через промежуточные задачи, такие как оценка позы человека, сегментация одежды и обнаружение ключевых точек. Эти модели извлекают признаки, связанные с телом и одеждой, которые используют в качестве входных данных или ограничений для генерации результатов примерки. Ghodhbanі и соавт. рассмотрели CNN-методы в области анализа модных изображений, оценки позы и обнаружения ключевых точек одежды, показав, каким образом глубокие модели могут извлекать признаки, значимые для одежды [112]. Хи и соавт. использовали искусственную нейронную сеть с обратным распространением ошибки (BP-ANN) для повышения точности оценки позы, что может поддерживать оптимизацию посадки. Wang и соавт., а также Liu и соавт. оценивали и прогнозировали размерные признаки тела человека и посадку одежды с использованием искусственных нейронных сетей (ANN) и нейронных сетей радиально-базисных функций (RBF) [113,114]. Исследования Oh и соавт. и Kim и соавт. предложили ИИ-системы, работающие при малом объеме данных, для кастомизации по нескольким типам телосложения с использованием объективной оценки посадки, продемонстрировав высокую эффективность для индивидуального подбора размеров и контроля посадки [97,115,116]. На рисунке 1.8 показан подробный рабочий процесс использования нейронных сетей для оценки и прогнозирования размерных признаков тела человека и посадки одежды.

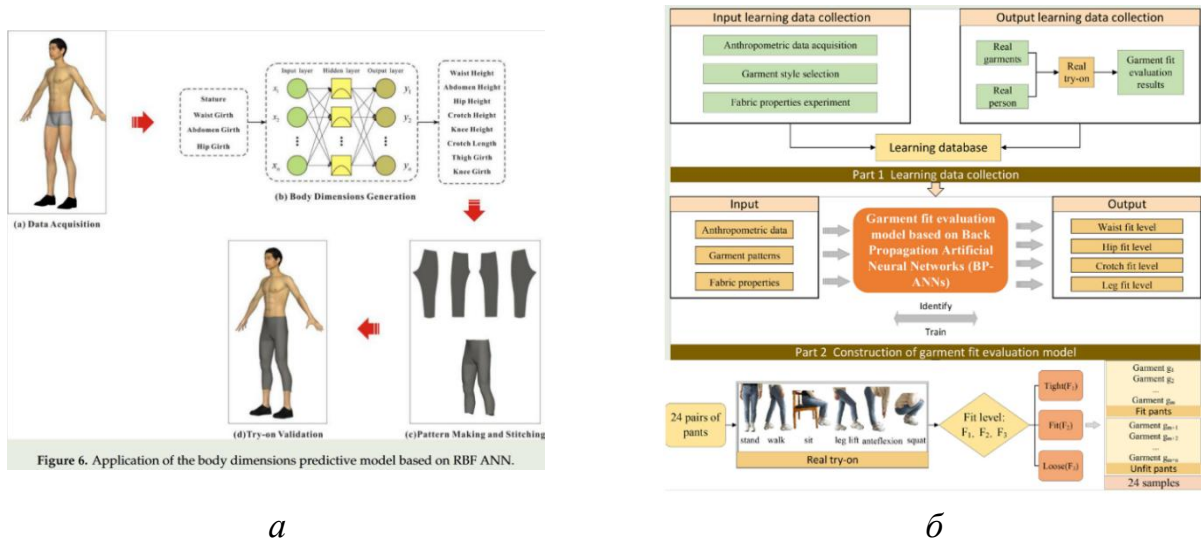


Рисунок 1.8- Оценка и прогнозирование размерных признаков тела человека и посадки одежды с использованием ИИ: *a* - оценка размерных признаков тела человека с использованием технологии нейронных сетей радиально-базисных функций (RBF) для построения лекал [113]; *б*- оценка посадки одежды с использованием технологии искусственных нейронных сетей (ANN) [114]

Модели машинного обучения зависят от распределения обучающих данных. Когда формы тела, позы, стили одежды или характеристики ткани выходят за пределы обучающего диапазона, ошибки обнаружения ключевых точек и прогнозирования посадки могут усиливаться, что затрудняет обеспечение стабильности для различных форм тела и категорий объемно-силуэтной формы. В то же время метрики во многих наборах данных для прогнозирования посадки по-прежнему в основном опираются на эмпирические суждения типа "хорошо" или "плохо" или субъективные оценки и, следовательно, не имеют воспроизводимых количественных критериев. В результате, машинное обучение все еще не полностью решает проблему стандартизированной и инженерно ориентированной квалиметрии сгенерированных изображений одежды.

Маршруты на основе диффузионных моделей и адаптеров. Методы, усиленные диффузионными моделями и адаптерами, представляют собой дальнейшее развитие виртуальной примерки с более выраженным акцентом на точность генерации и управлением внешним видом. Эти методы опираются на предварительно обученные диффузионные модели, используют механизмы деформации, демонстрируют высокую эффективность в сохранении стабильности силуэта и точности передачи деталей при высоком разрешении изображений. Zhang и соавт. предложили WarpDiffusion, который сочетает деформацию одежды с генерацией на основе диффузионных моделей и повышает качество виртуальной примерки [117]. Xing и соавт. использовали

TryOn-Adapter для отделения идентичности одежды от внешнего вида человека и повышения эффективности генерации, [118]. На рисунке 1.9 показано улучшение стабильности силуэта и точности передачи деталей, достигаемое диффузионными моделями при переносе формы одежды на высокоразрешающих тестовых наборах.

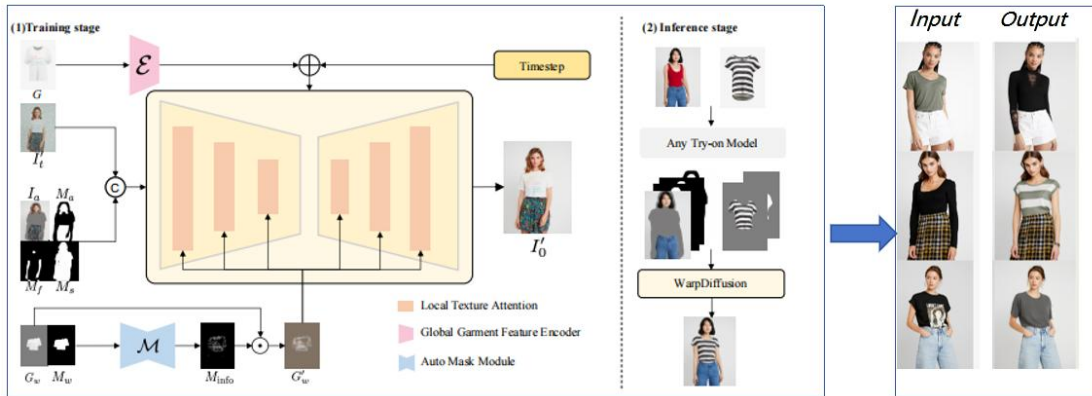


Рисунок 1.9 - Точность генерации формы одежды с использованием WarpDiffusion [117]

Однако, несмотря на эти преимущества, алгоритмы на основе диффузионных моделей обычно не включают инструментарий для измеряемого структурного анализа, поэтому их трудно напрямую сравнивать с инженерно ориентированными методами [119,120].

Генеративный ИИ и управляемая визуализация виртуальной примерки на основе больших языковых моделей. Развитие генеративных моделей, таких как GAN, диффузионные модели и Transformers, а также больших языковых моделей позволило использовать мультимодальные условия для виртуальной примерки. Такие фреймворки, как CLIP, выравнивают текстовые и визуальные представления с помощью обучения, поддерживая генерацию, поиск и редактирование одежды [121]. В виртуальной примерке CG-VTON объединены дизайнерские эскизы, информация о позе и текстовые описания для генерации управляемых изображений с передачей текстуры одежды и локальных деталей [107,122]. На рисунке 1.10 показаны рабочий процесс и результаты генерации управляемых силуэтов одежды и визуализаций примерки путем объединения генеративного ИИ с большими языковыми моделями.

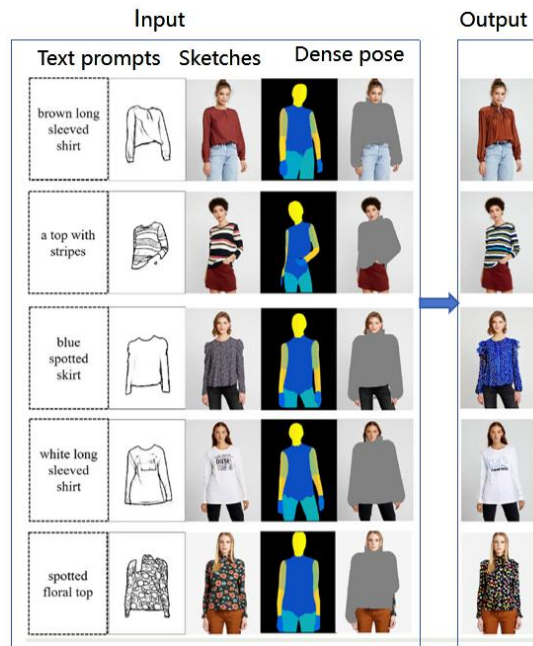


Рисунок 1.10- Генерация формы одежды с использованием мультимодальных запросов (простые текстовые запросы + эскизы + DensePose) [122]

Однако, оценка результатов генерации по-прежнему опирается в значительной степени на перцептивные метрики, а количественная оценка структурных отклонений и стандартизированные протоколы проверки остаются недостаточно развитыми, и они все еще не полностью решают проблему количественной проверки формы одежды. [123,124]. Для конструктивно сложных изделий это ограничение особенно важно, поскольку мультимодальная генерация в конечном итоге должна опираться на измеримые критерии, чтобы поддерживать инженерно ориентированное проектирование и анализ лекал. Соответственно, оставшиеся проблемы применения ИИ следует рассматривать не только с точки зрения качества генерации, но и с точки зрения структурной согласованности, количественной проверяемости и сопоставимости различных методов.

1.2.2. Проблемы применения ИИ

Некоторые проблемы виртуальной примерки на основе ИИ выходят за рамки качества генерации и включают обобщаемость, структурную согласованность, динамическую адаптивность, а также отсутствие стандартизированной оценки для инженерно ориентированной проверки.

Модели ИИ зависят от масштаба высококачественных обучающих данных. Сбор данных становится особенно трудным и затратным, когда исследование направлено на определенные типы телосложения и сложные сценарии, что

ограничивает обобщаемость для различных морфологий фигур, стилей и динамических условий, а эффективность часто снижается для нестандартных типов телосложения.

Существующие модели обычно хорошо работают в статических условиях, однако при динамических условиях или значительных изменениях позы они часто генерируют складки, смещения или неестественные формы. Эта проблема становится более заметной в сложных позах, когда взаимодействие изделия с телом труднее представить точно.

Искажения и потеря деталей все еще имеют место при работе со сложными текстурами и конструктивными зонами. В ключевых участках, таких как швы реглан и проймы, даже небольшие ошибки совмещения могут приводить к визуально заметным и конструктивно значимым неточностям.

Единая стандартизированная система проверки по-прежнему отсутствует. Метрики FID и LPIPS, широко используемые в методах ИИ, не могут точно количественно оценивать структурную согласованность, размерную адаптацию или посадку, связанную с комфортом. Поэтому будущие исследования должны разработать единую систему оценки с измеримыми критериями, чтобы обеспечить повторяемость, сопоставимость и проверяемость сгенерированных результатов одежды.

Таким образом, хотя виртуальная примерка и генерация одежды на основе ИИ решили многие базовые проблемы визуализации и управляемого синтеза изображений, основные проблемы в области зависимости от данных, структурной согласованности, динамической адаптации, точности генерации и стандартизации оценки сохраняются. Эти ограничения показывают, что одних методов ИИ пока недостаточно для полного удовлетворения требований строгой проверки формы одежды и инженерно ориентированного анализа проектирования. По этой причине остается необходимым введение измеримых и структурно интерпретируемых критериев оценки, особенно для сложных изделий, таких как мужские пальто покроя реглан. Этот вывод естественно подводит нас к следующему разделу, в котором рассматриваются инженерные характеристики и исследовательские проблемы проектирования лекал рукава реглан.

1.3. Инженерные аспекты построения лекал рукава реглан

Рукав реглан представляет собой особенно сложный конструктивный объект в мужской верхней одежде. Его плечевая конфигурация определяется непрерывной зоной «горловина - плечо - рукав», и эта непрерывность непосредственно влияет на комфорт и устойчивость общего силуэта пальто. Рукава реглан характеризуются сильной взаимосвязью между конструктивными

управляющими переменными, поэтому даже локальная корректировка может вызвать согласованные изменения в передне-заднем распределении, положении рукава и объемно-силуэтной форме. По этой причине мужские пальто с рукавом реглан остаются давней проблемой традиционного конструирования лекал и требуют единой количественной системы для цифрового проектирования и виртуальной проверки.

1.3.1. Методы построения лекал пальто покроя реглан

Рукав реглан обычно определяют как конструкцию рукава, при которой рукав и стан изделия соединяются в области плеча посредством шва, проходящего от линии горловины или шейной точки к подмышечной области, тем самым объединяя плечо и рукав в единую конструктивную конфигурацию [15,16]. В отличие от втачного рукава, который предполагает втачивание самостоятельного рукава в отдельную пройму, характерный шов реглан проходит через плечевую область. В результате он изменяет положение всей конструкции, положение и направление рукава, что оказывает более непосредственное влияние на видимый силуэт. С функциональной и эстетической точек зрения рукава реглан обеспечивают свободу движения верхних конечностей и одновременно формируют внешний силуэт изделия [17,18]. С точки зрения применения рукава реглан имеют несколько вариантов в зависимости от формы линии шва. На рисунке 1.11 показаны форма и структура лекал различных вариантов рукава реглан, включая полный реглан, полуреглан и локально модифицированные конструкции реглан.

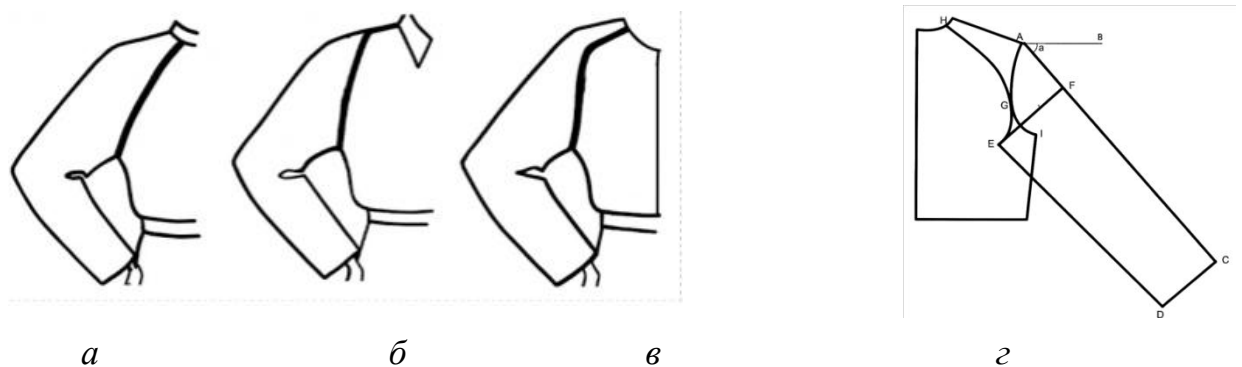


Рисунок 1.11 - Конструкции рукава реглан: *а*- полный реглан; *б*- полуреглан; *в* - реглан-погон; *г* - схема чертежа [19]

Как показано на рисунке 1.11 *г*, структура рукава реглан в традиционном построении лекал определяется несколькими взаимосвязанными элементами. Угол *а* между средней линией рукава AG и горизонтальной линией AB задает наклон

средней линии рукава, который определяет пространственное положение и формирует общую морфологию рукава. Высота оката рукава AF и ширина рукава EF совместно контролируют прибавку на свободу облегания в области проймы и ее распределение. Недостаточная общая прибавка или несбалансированное распределение часто приводят к нежелательным складкам и натяжению в подмышечной, или корневой, области рукава. Линия HG, соединяющая стан изделия с рукавом, непосредственно формирует внешний силуэт рукава реглан за счет своего положения и направленной кривизны. Внешний вид рукава реглан в основном достигается согласованной корректировкой наклона средней линии рукава, высоты оката, ширины рукава и линии соединения стана изделия с рукавом.

На основе этих конструктивных характеристик можно выделить три распространенных метода построения лекал рукава реглан: прямое построение, пропорциональное построение и построение на основе базовой конструкции.

1) Прямое построение. Данный метод опирается на эмпирические правила или репрезентативные лекала, а положение шва реглан, направление средней линии рукава, высота оката рукава и ширина рукава корректируют поэтапно для достижения требуемого внешнего вида и посадки. Основное преимущество заключается в практической гибкости при работе с различными типами телосложения и стилевыми требованиями. Однако, поскольку процесс корректировки в значительной степени зависит от исполнителя, одна и та же проблема может решаться различными способами модификации, а модификация может приводить к различным визуальным результатам и результатам посадки. В результате воспроизводимость и переносимость между различными типами телосложения остаются ограниченными.

2) Пропорциональное построение. Данный метод основан на антропометрических соотношениях и геометрических построениях. Основные контрольные линии рукава реглан строят с использованием пропорций, углов или антропометрических точек, после чего соответственно определяют направление, высоту оката и ширину рукава. Основное преимущество состоит в том, что ключевые переменные могут быть выражены в унифицированной и явной форме, что поддерживает параметризованное описание и последующий количественный анализ. Однако без единой и воспроизводимой системы оценки одни только правила построения не позволяют подтвердить конструктивную корректность или устойчивость силуэта.

3) Построение на основе базовой конструкции. Данный метод использует базовую конструкцию втачного рукава. Путем определения положения шва реглан и перераспределения структуры плечевой области в детали рукава базовую конструкцию втачного рукава преобразуют в рукав реглан. Его основное

преимущество заключается в ясном производственно ориентированном рабочем процессе и частичном сохранении основы исходной базовой конструкции. Однако корректировка положения шва реглан и направления рукава по-прежнему, как правило, зависит от эмпирических правил. Локальные модификации могут легко изменить передне-заднее распределение плечевой области и сопряжение проймы, что приводит к нестабильному силуэту.

На рисунке 1.12 показаны пропорциональный метод построения и метод построения рукава реглан на основе базовой конструкции.

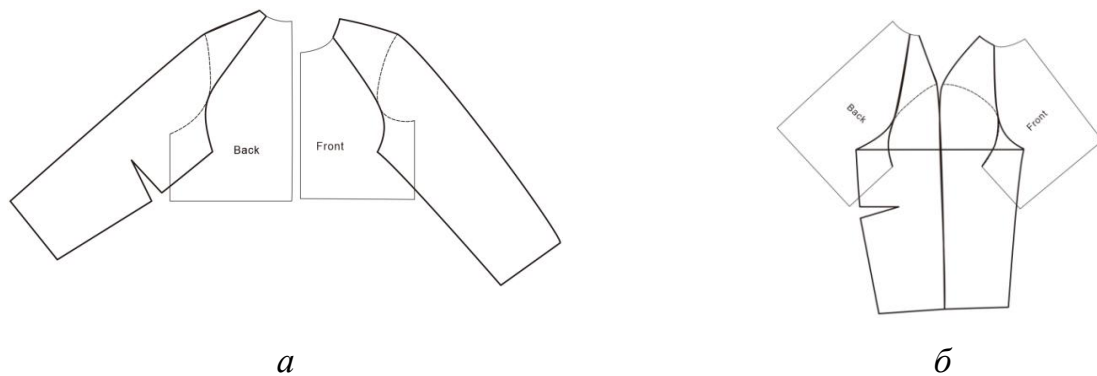


Рисунок 1.12 - Методы построения лекал рукава реглан: *а* - пропорциональное построение [20]; *б* - построение на основе базовой конструкции [22].

Помимо различий в методах построения лекал, рукава реглан имеют различные конфигурации линий, влияющие на пространственное положение, возможности локальной корректировки формы, сложность построения и технологию изготовления. На рисунке 1.13 показаны конфигурации одношовного, двухшовного и трехшовного рукава реглан [24,22]. В целом увеличение количества деталей рукава позволяет получать разные формы и открывает возможности для локальной корректировки, но одновременно повышает сложность построения лекал и технологию обработки.

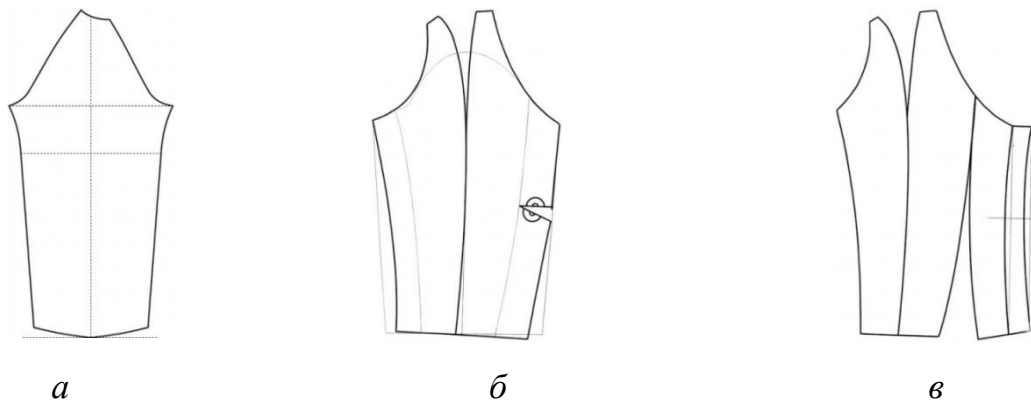


Рисунок 1.13 - Конфигурации деталей рукава: *а*- одношовный [24]; *б*- двухшовный; *в* - трехшовный [22]

Как показано на рисунке 1.13, одношовный рукав имеет упрощенную конструкцию для более свободных или повседневных силуэтов, однако он обеспечивает ограниченный тонкий контроль направления рукава и сопряжения проймы. Двухшовный рукав состоит из передней и задней деталей, что позволяет более эффективно распределять прибавку на свободу облегаия и корректировать направление рукава; поэтому его часто применяют в верхней одежде, требующей улучшенной посадки и устойчивости силуэта. Трехшовный рукав добавляет дополнительную деталь рукава для усиления 3D-формообразования и локальной корректировки, что делает его подходящим для структурированной верхней одежды с более высокими требованиями к качеству линии рукава, плавности проймы и точности силуэта.

Для верхней одежды покроя реглан существуют три проблемы. Во-первых, поскольку ключевые конструктивные элементы тесно взаимосвязаны, то для локальной корректировки одних параметров следует целенаправленно изменять другие конструктивные зоны и контролировать силуэт. Во-вторых, разнообразие базовых конструкций и форм фигур усиливают эту нестабильность. В-третьих, выбор метода конструирования и корректировки лекал не могут быть задействованы без единой и воспроизводимой количественной системы оценки с обоснованными проверяемыми данными.

1.3.2. Существующие исследования по проектированию лекал рукава реглан

Как интегрированная структура «рукав + стан», конструкция рукава реглан зависит от различных факторов, включая методы построения лекал, передне-задний баланс стана изделия, членение линии шва, точки соединения и пространственное соотношение между рукавом и рукой. Соответственно, существующие исследования рукава реглан можно рассматривать с трех аспектов: параметризации переменных лекал, взаимосвязи между параметрами лекал и морфологией тела, влияния корректировок лекал на комфорт и эстетические характеристики. В совокупности эти три аспекта формируют основной исследовательский контекст для понимания того, как лекала рукава реглан создаются, корректируются и оцениваются как в традиционной, так и в цифровой среде проектирования.

Существующие исследования сравнивают методы построения лекал рукава реглан и предлагают параметризованные модели для согласования комфорта и эстетического внешнего вида. Мао и соавт. сравнили традиционный пропорциональный метод, основанный на углах, с методом на основе базовой конструкции и установили, что пропорциональный метод прост в применении и подходит для рукавов со свободной формой, но имеет ограниченную точность, а

метод посадки на основе базовой конструкции обеспечивает более точное сопряжение между проймой и окатом рукава [26]. Хотя это сравнение дает основу для выбора методов, оно в основном опирается на эмпирические описания, а не на конкретные числовые характеристики.

В последующих исследованиях выполнен анализ конструктивных взаимосвязей. Zhao и соавт. установили взаимосвязь между плечо-рукавным углом и прибавкой стана изделия, предоставив качественный и количественный анализ их влияния на морфологию рукава реглан [27]. Развивая это направление исследований, Mu и соавт. и Zlatina и соавт. разработали регрессионные модели на основе ключевых параметров лекал, таких как угол для средней линии рукава, высота оката рукава, высота плечевой точки и глубина проймы, тем самым параметризуя проектирование лекал рукава реглан [28,29].

Кроме того, в ряде исследований использована визуальная информация для проектирования лекал. Li и соавт. и Gu и соавт. построили регрессионные модели, связывающие визуальные образы со структурными параметрами, что позволило автоматизировать преобразование визуальной информации в построение лекал и предложило еще один подход к количественному цифровому проектированию рукава реглан [30,31]. Gill и соавт. эмпирически сравнили параметрическое построение с традиционными методами построения лекал в САПР и сделали вывод, что параметрическое построение обеспечивает более высокую скорость и точность при создании индивидуализированных лекал [32]. А. В. Гниденко, рассматривая женскую одежду с рукавами сложных кроев, разработала технологию формализации и алгоритмизации процесса проектирования, в которой конструктивные параметры, критерии качества посадки и взаимосвязи в системе «фигура — конструкция — одежда» используются как информационная база для параметрического синтеза и диагностики качества конструктивных решений [135]. В совокупности эти количественно выраженные параметры лекал и математические модели обеспечивают конкретную информационную поддержку проектирования лекал.

Влияние отдельных параметров лекал на комфорт рукава реглан было изучено в ряде работ. Wei и соавт. исследовали влияние параметров лекал, включая положение узловой точки оката рукава и смещение нижней точки проймы на комфорт и эстетический внешний вид прилегающих рукавов реглан и разработали САПР-систему для построения лекал [33]. Lou и соавт. предложили подход обратного проектирования, использующий регрессионные модели для анализа влияния параметров лекал, включая наклон средней линии рукава и размещение точек соединения, на комфорт ношения [34]. Liang и соавт. ввели площадь перекрытия в подмышечной области в качестве количественного показателя для оценки 3D-формы и комфорта, а также провели углубленный

анализ того, как угол втачного рукава влияет на структуру лекал реглан [35]. На рисунке 1.14 показаны варианты площади перекрытия в подмышечной области для оценки посадки и комфорта [23].

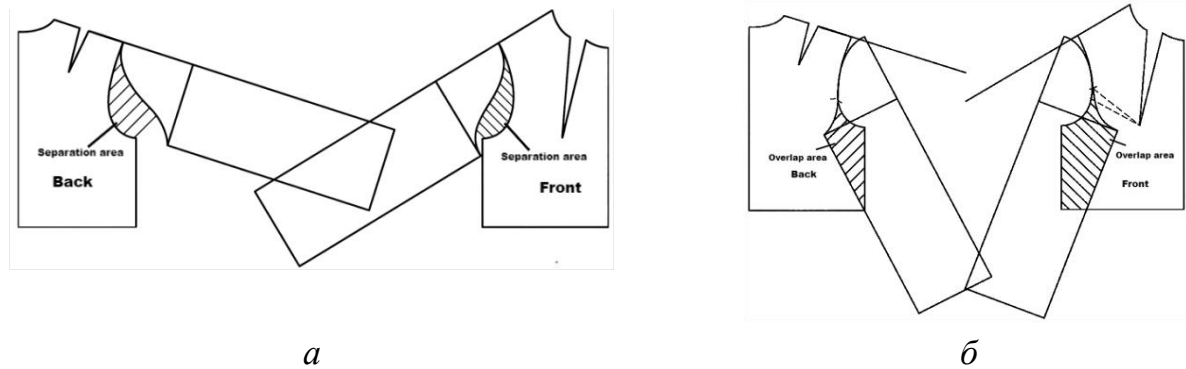


Рисунок 1.14 - Влияние зон разделения и перекрытия в подмышечной области на конструкцию рукава: *а*- зона разделения в подмышечной области; *б*- зона перекрытия в подмышечной области [27].

Как показано на рисунке 1.14, а, большая площадь разделения указывает на больший зазор в подмышечной области и, следовательно, на более свободный силуэт рукава. Как показано на рисунке 1.14, б, большая площадь перекрытия указывает на более сильное сжатие в подмышечной области и, следовательно, на более прилегающую посадку. Однако данный метод не уточняет границы областей разделения и перекрытия, а также не предоставляет воспроизводимых количественных пороговых значений. Следовательно, оценка посадки по-прежнему в основном опирается на субъективное суждение, что делает данный показатель непригодным для сопоставительного анализа различных форм фигур и объемно-силуэтной формы, а также затрудняет преобразование результатов оценки в конкретные числовые корректировки параметров лекал.

Из-за интегрированных особенностей конструкции «рукав + стан» в лекалах реглан комфорт обычно определяется совместным влиянием нескольких параметров лекал. Соответственно, ряд исследований дополнительно изучал совместное влияние нескольких параметров лекал на комфорт рукава реглан. В исследованиях Liu и соавт., Huang и соавт. и Wu и соавт. установлено влияние ключевых параметров лекал (наклон средней линии рукава, высота оката рукава, глубину проймы, ширину низа, ширину рукава, координаты точек) на общий силуэт и эксплуатационные характеристики [36–38]. Они предложили проектные стратегии, оптимизирующие взаимодействие этих параметров для повышения комфорта и эстетического качества. Результаты предлагают сбалансированные решения, согласующие визуальную привлекательность, комфорт и технологическую осуществимость, конкретные числовые рекомендации,

например наклон средней линии рукава 45° и высоту оката рукава, равную $Oг3/6$, для прилегающих изделий типа блейзера.

Таблица 1.1 показывает значения различных параметров лекал, для разных углов максимального подъема руки

Таблица 1.1. Параметры лекал, обеспечивающие хорошую посадку при разных углах максимального подъема рукава

| Параметры лекал, см | Максимальный угол подъема руки | | | | |
|---|--------------------------------|------------|------------|------------|------------|
| | 17° | 33° | 40° | 55° | 65° |
| Коэффициент для расчета прибавки к ширине рукава | 0,7 | 0,5 | 0,45 | 0,3 | 0,15 |
| Прибавка к ширине плечевого ската | 3 | 2 | 1,5 | 1 | 0 |
| Смещение от задней линии относительно средней линии рукава | 10,4 | 7,3 | 5,5 | 3 | 1 |
| Смещение от передней линии относительно средней линии рукава | 10 | 7 | 5,5 | 3,5 | 1,5 |
| Высота оката рукава | 15,3 | 14 | 12,5 | 10,5 | 7,5 |
| Отступ задней точки соединения детали рукава со станом от линии ширины спинки | 1 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 1 |
| Отступ передней точки соединения детали рукава со станом от линии ширины переда на уровне груди | 1,2 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| Понижение глубины проймы | 0 | 0,5 | 0,7 | 1 | 1,2 |
| Угол между плечевой линией и средней линией задней части рукава, $^\circ$ | 61,5 | 48,8 | 41,5 | 34,5 | 25,5 |
| Угол между плечевой линией и средней линией передней части рукава, $^\circ$ | 64 | 53,5 | 45,5 | 38,6 | 28,5 |

Как показано в таблице 1.1, количественные параметры лекал при разных углах должны быть согласованы между собой для достижения комфорта. Таким образом, данное исследование предоставляет более конкретные числовые ориентиры для совершенствования конструкции рукава реглан.

Желаемый силуэт рукава реглан следует оценивать с учетом появления дефектов посадки. Анализ распространенных дефектов внешнего вида (неровности в подмышечной области, складки и избыточная прибавка на свободу облегания) в большинстве исследований проводят по трехэтапной схеме: анализ конструктивных факторов, корректировка параметров и проверка во время

примерки [39-42]. Huang и соавт. сравнили одношовные и двухшовные рукава реглан для фигур различных типов и проанализировали, как смещение точек соединения частей рукава влияет на избыточную прибавку в подмышечной области и силуэт [43]. Liu и соавт. и Zhang и соавт. дополнительно улучшили гладкость подмышечной области на основе принципов конструктивной трансформации и поворота рукава соответственно [44,45]. На рисунке 1.15 показан пример, в котором дефект избыточной прибавки в подмышечной области устранен путем корректировки положения нижней точки проймы.

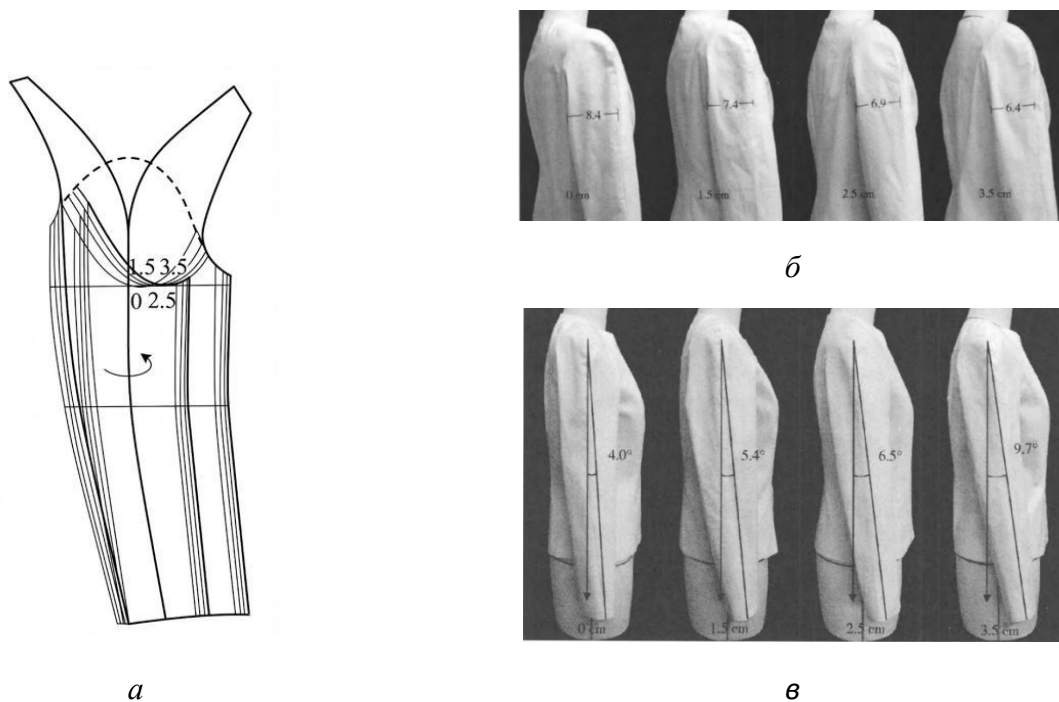


Рисунок 1.15 - Корректировка неровности в подмышечной области путем поворота рукавной трубки: а- конструктивная модификация; б- поворот формы рукава; в - угол переднего наклона рукава [45]

Как показано на рисунке 1.15, а, пройма смещается вперед на 0, 1,5, 2,5 и 3,5 см. На рисунке 1.15, б показана результирующая ширина силуэта в области ширины рукава при разных смещениях. На рисунке 1.15, в угол между средней линией рукава и вертикальной линией, проходящей через плечевую точку, представлен как показатель для оценки посадки рукава.

В целом исследования рукава реглан сформировали методологический подход, включающий параметризацию лекал, адаптацию системы «фигура+изделие» и оценку силуэтных характеристик, накопили значительный объем данных о конструктивных факторах, рекомендациях по корректировке и числовых диапазонах. Однако сохраняется несколько пробелов: (1) существующие исследования рассматривают корректировку отдельных параметров лекал

изолированно, тогда как многопараметрическая взаимосвязь и допустимые диапазоны сочетаний изучены недостаточно; (2) в исследованиях особенности телосложения редко используют как основную базу для определения или корректировки лекал; чаще их вводят на этапах оценки посадки и модификации лекал; (3) отсутствуют стандартизированные критерии для диагностики распространенных дефектов в подмышечной области, таких как неровность ткани, складки и избыточная прибавка на свободу облегания.

1.3.3. Критерии оценки посадки пальто с рукавом реглан

Оценка посадки является важным компонентом оптимизации формы и лекал, поскольку она обеспечивает комплексное суждение об устойчивости внешнего вида изделия, комфорте и качестве всех проектных работ. Традиционная оценка в основном опирается на физические примерки и экспертное суждение. С развитием цифровых процессов 3D-виртуальная примерка широко используется для проверки на ранних этапах, что позволяет снизить затраты на итерации, а также многократно наблюдать, документировать и количественно оценивать показатели посадки в относительно контролируемых и согласованных условиях. Существующие критерии оценки посадки можно разделить на две категории: субъективная оценка и объективная оценка.

Субъективная оценка включает визуальный осмотр общего внешнего вида изделия в статических и динамических условиях с акцентом на общую эстетику, поперечные силуэты, профильные виды, расположение конструктивных линий членения и линий швов, а также распределение морщин, выпуклостей и заломов. В некоторых исследованиях применяют методы психологической оценки путем преобразования субъективных ощущений носителя (комфорт, давления и впечатление от внешнего вида) в порядковые количественные шкалы. Субъективную оценку внешнего вида можно формализовать с помощью протоколов. Monobe и соавт. разделили женский жакет на 31 эстетическую область и на основе локальной формы, контура, морщин и гладкости оценили посадку (по шкале "подходит", "не подходит", "удовлетворительно") и эстетичность ("привлекательно", "непривлекательно", "удовлетворительно") [116]. На рисунке 1.16 показана схема сегментации областей для субъективной оценки посадки.



Рисунок 1.16 - Сегментация локальных областей жакета для субъективной оценки посадки силуэта [46]

Как показано на рисунке 1.16, силуэт жакета был разделен на области и субъективно оценен. Такой подход может служить ориентиром для определения областей и организации процесса оценивания при анализе рукава реглан. Однако в рукаве реглан деталь рукава напрямую соединяется со станом изделия посредством шва реглан, а направление рукава, подмышечный зазор и передне-задний баланс стана изделия являются взаимозависимыми. Поэтому рукав или стан изделия не следует оценивать отдельно; вместо этого область «пройма+шов реглан+подмышечная зона+ полочка/спинка» должна рассматриваться как единая интегрированная зона.

Kim и соавт. предложили семишкальную схему оценки для различных областей одежды, включающую показатели вида спереди (количество складок, посадка, привлекательность, эффект визуальной коррекции, эстетичность и силуэт) и вида сбоку (соотношение линии талии и линии груди, общий внешний вид [47]). Yu и соавт. дополнительно разработали уточненную девятибалльную шкалу оценки посадки для более точной оценки каждой области жакета [48]. На рисунке 1.17 показано, что девятибалльная шкала охватывает широкий диапазон состояний плохой и хорошей посадки в различных областях жакета.

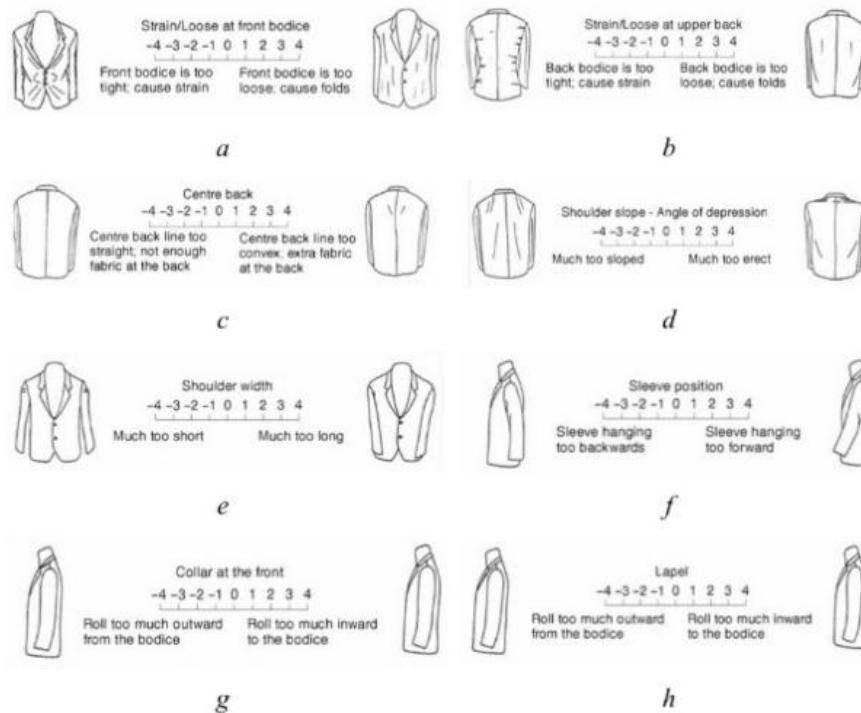


Рисунок 1.17 - Схема оценки посадки на разных участках: *a*- полочка; *б*- верхняя часть спинки; *с*- центральная часть спинки; *д*- плечевой пояс; *е*- ширина плечевого пояса; *ф*- рукав; *г*- воротник; *h*-лацкан [47]

С другой стороны, субъективная оценка рассматривает воспринимаемый комфорт при стандартизированных позах и действиях. Gu и соавт., Saugli и соавт. и Nuck и соавт. оценивали комфорт с использованием пяти положений рук, чтобы различать уровни комфорта и проводить сравнительную оценку [49-51].

Объективная оценка опирается на измеримые числовые показатели, такие как давление одежды, углы и расстояния. В условиях реальной примерки давление одежды широко используют для выявления областей чрезмерного натяжения или излишней свободы. В виртуальной среде также могут быть получены дополнительные величины, которые трудно измерить физически, например расстояние между цифровой фигурой и изделием, распределение прибавок и показатели, связанные с деформацией.

Статическая оценка посадки рукава реглан обычно проводится в положении, когда носитель стоит прямо, а руки свободно опущены вдоль тела. Ключевые критерии оценки включают соответствие форме тела, совместимость между окатом рукава и деталью рукава, избыточную прибавку в подмышечной области, а также наличие складок или натяжения в критических зонах. Статическая оценка, как правило, выполняется подготовленными экспертами с использованием стандартизированных протоколов, при этом несколько оценок усредняются для минимизации межэкспертной погрешности. Zhou и соавт.

подчеркнули важность статической проверки посадки при оценке рукава реглан, особенно выделив геометрическую совместимость между проймой и окатом рукава, а также рациональность полученного положения изделия при носке [39]. На рисунке 1.18 показаны три условия, используемые для статической оценки посадки.



Рисунок 1.18 - Статическая оценка: *а*- образец изделия, размещенный на манекене; *б*- образец изделия, надетый на реальное тело человека; *в* — образец изделия, виртуально примеренный на 3D-аватар

Как показано на рисунке 1.18, образец изделия может оцениваться в трех статических условиях: (а) на манекене, используется для наблюдения общего силуэта и конструктивной симметрии при стандартизированной базовой фигуре; (б) на реальном человеке, используется для изучения того, как морфология тела, наклон плеча и расслабленное положение руки, опущенной вниз, влияют на складки, подмышечную прибавку и баланс посадки в области рукава; (в) на 3D-аватаре, используется для получения статического ориентира при контролируемых ограничениях позы и вида, согласованного с последующими цифровыми измерениями. Сравнение этих трех условий позволяет сформировать сопоставимую систему статического наблюдения, обеспечивающую быстрое выявление и корректировку дефектов формы и посадки.

Динамическая оценка посадки сосредоточена на поведении рукава во время движений (подъем рук, вытягивание рук и скрещивание рук на груди) и рассматривает проблемы ограничения движения, стеснение в подмышечной области, деформация плечевой области и устойчивость формы рукава. Такая оценка может проводиться посредством физической примерки или 3D симуляции. Виртуальная среда обеспечивает согласованные положения аватара и условия обзора для надежного сравнения. Liu и соавт. исследовали влияние наклона средней линии рукава и глубины проймы на динамический комфорт и количественно оценили восприятие носителя с использованием структурированной шкалы оценивания. Важно отметить, что динамическая оценка

требует воспроизводимых движений, а также четко определенных и согласованных критериев оценки; в противном случае сопоставимость между образцами нарушается [55]. На рисунке 1.19 показаны четыре стандартизированных положения рук, используемые для динамической оценки посадки.



Рисунок 1.19 - Позы для динамической оценки при разном положении рук: *а*- опущены; *б* - разведены в стороны; *в*- подняты вверх; *г*- скрещены на груди.

Эти положения были выбраны для выявления ограничения движения рукава, стеснения в подмышечной области, деформации плечевой области и нестабильности формы рукава в условиях воспроизводимых движений.

На основе статических и динамических состояний были введены психометрические шкалы, позволяющие переводить субъективные ощущения, такие как комфорт, ощущение давления и визуальное впечатление, в количественно выраженные порядковые оценки, тем самым обеспечивая количественную оценку как комфорта ношения, так и эстетического качества. Lee и соавт. подчеркнули роль визуальной оценки потребителей в формировании восприятия комфорта и эстетики, обосновав необходимость включения визуального впечатления в системы оценки проектирования [56]. Liu и соавт. предложили шесть конкретных показателей для оценки комфорта рукава реглан: избыточная прибавка в подмышечной области, уровень посадки стана изделия, стеснение в области груди, деформация плечевой области, давление в плечевой точке и трудность вытягивания руки, а также разработали психологическую рейтинговую шкалу для оценки образцов изделий в статических и динамических условиях [57].

Таблица 1.2 показывает шесть психометрических показателей для оценки комфорта одежды в статических и динамических условиях.

Таблица 1.2 - Психометрические показатели оценки комфорта одежды [19]

| № | Оцениваемый показатель | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---------------|----------|--------------------|------------|---------------|
| ① | Уровень посадки | Очень плохой | Плохой | Удовлетворительный | Хороший | Очень хороший |
| ② | Избыточная прибавка в подмышечной области | Очень большая | Большая | Нормальная | Небольшая | Отсутствует |
| ③ | Стеснение в области груди | Очень тесно | Тесно | Нормально | Свободно | Комфортно |
| ④ | Деформация плечевой области | Сильная | Заметная | Нормальная | Незаметная | Отсутствует |
| ⑤ | Давление в плечевой точке | Очень высокое | Высокое | Нормальное | Низкое | Отсутствует |
| ⑥ | Трудность вытягивания руки | Очень трудно | Трудно | Нормально | Нетрудно | Легко |

Как показано в таблице 1.2, пункты ① и ② в основном относятся к статической оценке: носитель стоит прямо, а эксперты присваивают баллы на основе описательных критериев, при этом более высокие баллы указывают на больший комфорт. Пункты ③–⑥ в основном относятся к динамической оценке и оцениваются во время выполнения носителем стандартизированных движений, таких как отведение руки на 45° , отведение руки на 90° и поза со скрещенными на груди руками; баллы присваиваются в соответствии с описаниями рейтинговой шкалы, затем усредняются, и более высокие баллы указывают на лучший комфорт [19]. На этой основе Zhou и соавт. дополнительно уточнили данный подход, явно определив две различные системы показателей [39]. Эстетические показатели включают внешний вид областей передней части груди, спинки и подмышечной зоны, оценивая визуальную гладкость, совмещение швов, а также наличие избыточных складок или натяжения. Показатели комфорта включают устойчивость формы рукава и комфорт в подмышечной области; они оцениваются при расслабленном положении руки (0°) и при отведении руки (45° и 90°), с учетом ограничения движений, стеснения или деформации оката рукава [37]. Комплексные баллы рассчитывают следующим образом:

$$\begin{array}{l} \text{эстетическое} \\ \text{качество} \end{array} \left| \begin{array}{l} = \frac{\text{Силуэт (перед + спинка + подмышечная область)}}{3} \end{array} \right. \quad (1.1)$$

$$\begin{array}{l} \text{комфорт} \end{array} \left| \begin{array}{l} = \frac{\text{Комфорт в подмышечной области (0°, 45°, 90°) +} \\ \text{Устойчивость рукава (0°, 45°, 90°)}}{6} \end{array} \right. \quad (1.2)$$

Данный метод преобразует субъективные суждения в сопоставимые интегральные баллы посредством декомпозиции показателей и комплексного агрегирования, обеспечивая более практичную основу для оценки посадки и комфорта. Таким образом, субъективная оценка постепенно развивается от интуитивного визуального суждения к более структурированной системе, связывающей наблюдение внешнего вида, реакцию при движении и комплексное балльное оценивание.

Помимо систем оценки, в некоторых исследованиях были предложены эмпирические правила построения лекал, тесно связанные с показателями посадки, для интерпретации или направления конструктивных корректировок. Например, Wu и соавт. и Liu и соавт. подчеркнули важную роль передне-задней дифференциации ширины рукава внизу для посадки рукава реглан, рекомендуя делать переднюю часть меньше задней для повышения прилегания и стабильности при носке. Они предложили эмпирическое правило: передняя часть = ширина рукава – 1 см, задняя часть = ширина рукава + 1 см [36,38]. Следует отметить, что такие правила являются прежде всего рекомендациями по проектированию лекал; в данном контексте они служат для объяснения конструктивной логики, лежащей в основе оценочных показателей, и указывают возможные направления модификации лекал.

В целом современная оценка посадки рукава реглан сформировалась как двухкомпонентная система, объединяющая субъективные шкалы и объективные измерения, а количественное выражение обеспечивается порядковым шкалированием и комплексным балльным оцениванием. Однако эти критерии по-прежнему имеют существенные ограничения в инженерных приложениях: (1) недостаточная стандартизация поз, набор движений, углов обзора и протоколов оценивания в разных исследованиях затрудняет воспроизводимость результатов и межисследовательское сравнение; (2) многие показатели опираются на субъективное оценивание и не имеют прямой связи с измеряемыми данными изделия, включая размеры и форму; (3) для пальто качество посадки зависит не только от локального прилегания, но и от устойчивости объемно-силуэтной формы и согласованности ключевых зон, тогда как существующие критерии, как правило, сосредоточены на локальных участках, что ограничивает надежное сравнение между различными типами телосложения и силуэтами и затрудняет

выявление ошибок на основе лекал. Поэтому остается необходимым создание сопоставимой и воспроизводимой системы оценки в унифицированных условиях для поддержки корректировки лекал пальто с рукавом реглан, оценки и инженерно ориентированной проверки.

1.3.4. Существующие проблемы проектирования лекал

Существуют четыре проблемы, ограничивающие цифровую трансформацию процесса проектирования пальто покроя реглан.

Во-первых, существуют определенные ограничения построения чертежей из-за недостаточной антропометрической базы данных. Пропорциональные формулы в значительной степени опираются на эмпирические правила и итерационную проверку путем изготовления опытных образцов и не позволяют в полной мере учитывать индивидуальные различия в морфологии плечевого ската и торса. В результате одни и те же конструкции могут иметь разную посадку и вызывать комфорт у фигур с различной формой тела [1,3].

Во-вторых, отсутствует единый подход к многопараметрической взаимосвязи. В проектировании рукава реглан корректировка любого отдельного параметра, такого как наклон средней линии рукава, высота оката рукава, глубина проймы, расположение точки соединения или распределение ширины рукава, одновременно влияет на прибавку на свободу проймы, гладкость плечевой зоны и положение рукава в пройме. В результате изолированная настройка одного параметра часто улучшает одну область, но ухудшает другую. Поэтому эффективная оптимизация требует согласованного анализа и проверки комбинаций нескольких параметров в единых условиях оценки для получения устойчивых и повторно применимых правил корректировки.

В-третьих, связи между параметрами лекал и эстетическими результатами прослеживаются ограниченно. Современная система оценка посадки рукава реглан преимущественно опирается на субъективные описания, такие как наличие складок, стеснение и ограничение движения, но при этом не разработаны количественные метрики параметров формы. Следовательно, при возникновении дефектов в единых условиях измерения часто трудно определить местоположение дефекта, количественно оценить его величину и связать его с ответственным параметром или параметрами чертежа конструкции.

В-четвертых, критерии оценки остаются нестандартизированными. Большинство исследований сосредоточено на внешнем виде одежды на фигуре в положении стоя; даже при включении динамической оценки различия в позах могут приводить к различным результатам, а отсутствие единых стандартов оценки затрудняет сопоставление выводов [16,18,37]. Между тем складки в

подмышечной области и недостаточная гладкость рукава остаются одними из наиболее распространенных дефектов. Типичные способы исправления представляют собой локальные корректировки, такие как смещение нижней точки проймы, увеличение или уменьшение глубины проймы, однако их эффективность остается нестабильной при различных формах тела, видах тканей и условиях движения [17,31].

В совокупности эти проблемы показывают, что современные исследования рукава реглан по-прежнему не имеют единой инженерной системы, способной объединить морфологию фигуры, параметры чертежей, измеряемые параметры формы одежды и воспроизводимые результаты оценки. Поэтому необходимо в единых условиях квалиметрии одежды разработать комплексную систему, включающую систему количественных и измеряемых параметров формы, базовый набор конструктивно значимых параметров чертежей и воспроизводимые критерии статико-динамической оценки посадки.

1.4. Основная цель и задачи исследования

На основе выявленных выше и нерешенных проблем настоящее исследование направлено на разработку цифровой технологии проектирования мужских пальто покроя реглан путем интеграции процессов построения лекал, 3D-виртуальной примерки, параметризации 2.5D-проекций фигур и системы "фигура+пальто" и генерации их изображений с поддержкой ИИ. Предыдущие исследования показали, что технологии 3D и ИИ предоставляют полезные инструменты и информационные ориентиры для изучения формы и посадки рукава реглан. Однако систематические исследования мужской одежды покроя реглан остаются ограниченными, и ряд ключевых вопросов по-прежнему не решен ввиду отсутствия единого цифрового пространства для передачи информации, относящейся к 2D-лекалам, 3D-виртуальной и реальной одежде, ИИ-изображениям.

Более конкретно, существующие китайские мужские базовые конструкции стана не могут быть использованы для всех фигур китайских мужчин; в исходную базу знаний для построения лекал не входят параметры желаемой объемно-силуэтной формы одежды, что ограничивает количественную корректировку параметров лекал, необходимую для достижения оптимальной формы; отсутствуют единые критерии оценки формы и посадки виртуальных и реальных пальто, что затрудняет межплатформенное сравнение силуэтов. Поэтому целью данного исследования является разработка цифровой технологии проектирования мужских пальто покроя реглан, которая связывает морфологию тела, параметры лекал, 3D-виртуальную примерку, измерение 2.5D-проекций,

ИИ-генерацию и производственную проверку в рамках единой воспроизводимой инженерной системы.

Для достижения этой цели были сформулированы следующие исследовательские задачи, представленные на рисунке 1.20.

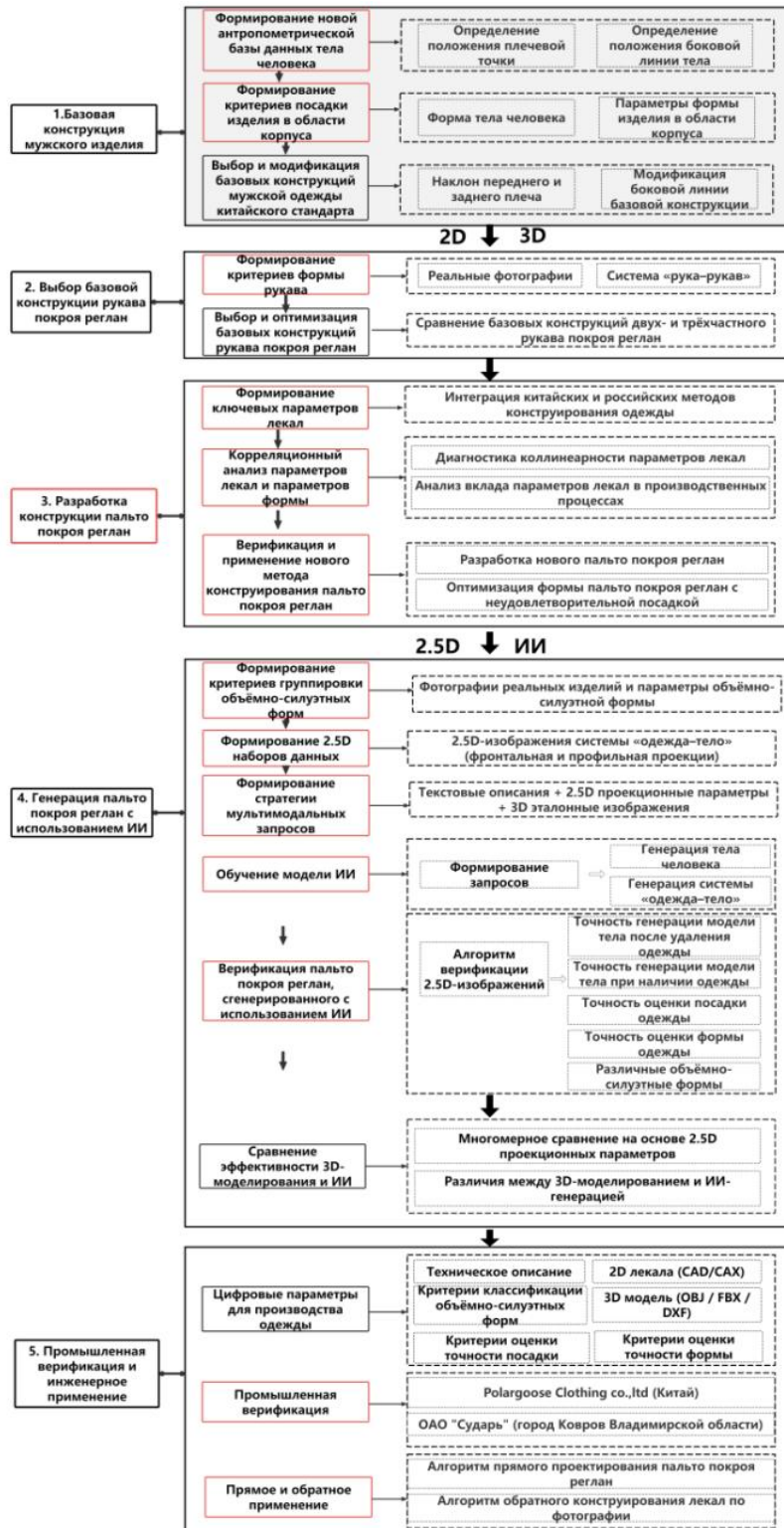


Рисунок 1.20 - Структура разрабатываемой цифровой технологии проектирования пальто покроя реглан

1. Создать новую антропометрическую базу данных, характеризующую морфологию мужского тела с учетом идентификации плечевой точки и положения боковой линии. На основе типичных вариаций формы тела китайских мужчин положение 3D-плечевой точки отображается на 2D-лекало для корректировки переднего и заднего наклонов плеча. Кроме того, соотношение распределения обхвата талии между передней и задней частями, измеренное в Style3D, используется для изменения положения боковой линии при корректировке мужской базовой конструкции.

2. Создать новые критерии оценки посадки стана изделия. Углы между передней и задней средними линиями и линией низа, а также вертикальные расстояния от горизонтальной контрольной линии у низа изделия измеряются и принимаются в качестве количественных параметров формы для оценки баланса стана изделия и общей посадки.

3. Создать новые критерии оценки формы рукава реглан. Отбираются высококачественные реальные фотографии хорошо сидящих рукавов реглан, и анализируется пространственное соотношение между телом и пальто. В системе «рука + рукав» переднее и заднее пространственные положения рукава относительно руки на уровне манжеты и локтя определяются как ключевые параметры формы для оценки формы рукава реглан.

4. Создать новые ключевые параметры лекал и новый метод построения лекал мужских пальто с рукавом реглан. Китайские и российские методы построения лекал интегрируются для получения новых параметров лекал, которые прямо и существенно влияют на форму рукава реглан. Предлагаемые параметры обеспечивают согласованную передне-заднюю связь между деталями рукава реглан, позволяя выполнять совместную оптимизацию общей формы рукава реглан.

5. Создать новые критерии группировки объемно-силуэтных форм рукава реглан. Реальные фотографии, лекала и информация о воздушном зазоре анализируются для определения новых параметров объемно-силуэтной формы, что позволяет количественно характеризовать различные объемно-силуэтные формы.

6. Создать новый набор 2.5D-данных, включающий параметры 2.5D-проекций системы «тело + пальто» во фронтальном и профильном видах. 2.5D-силуэт рукава реглан количественно измеряется. Эти параметры 2.5D-проекций служат как входными данными для ИИ, так и эталонными данными для оценки точности силуэтов, сгенерированных ИИ.

7. Разработать мультимодальные стратегии запросов. Описательные слова, значения 2.5D-проекций и 3D-референсные изображения одновременно используются для управления генерацией пальто с рукавом реглан с поддержкой

ИИ. Точность результатов, сгенерированных ИИ, включая сгенерированную ИИ фигуру, сгенерированное ИИ пальто и сгенерированную ИИ фигуру без одежды, оценивается с использованием разработанных критериев формы рукава реглан, посадки и объемно-силуэтной группировки.

8. Провести многомерную сравнительную оценку точности генерации пальто с рукавом реглан, полученных с помощью 3D-моделирования и генерации ИИ. Все вновь разработанные данные для проектирования пальто с рукавом реглан, включая 2D-лекала, 3D-моделирование, стратегии запросов для ИИ и критерии оценки формы и посадки, проверяются посредством практических испытаний на китайских и российских предприятиях швейного производства.

ГЛАВА 2. ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В данной главе установлены единые требования к объектам и методам исследования, что обеспечивает воспроизводимые исходные данные и единую расчетную основу для последующего формирования, измерения и сравнительного анализа цифрового рабочего процесса «фигура + пальто». Во-первых, объекты исследования, включая чертжи, мужские фигуры, материалы и референсные изображения реальных пальто покроя реглан, определены как стандартизированные исходные данные для виртуальной примерки, генерации изображений с использованием искусственного интеллекта (ИИ) и сравнения формы при единых условиях. Во-вторых, цифровой рабочий процесс и программная среда конкретизированы для определения входных и выходных данных и правил их регистрации на каждом этапе обработки, включая разработку чертежей, 3D-симуляцию, извлечение контуров, измерение 2.5D проекционных параметров, статистический анализ и подготовку графических материалов. В-третьих, установлена геометрическая система параметров для системы «фигура + пальто», спецификации измерения 2.5D-проекций, унифицированная измерительная схема и протокол статистических расчетов для поддержки объемно-силуэтной группировки и количественной оценки отклонений формы в последующих главах. Наконец, разработаны критерии посадки стана (C_B), критерии формы рукава (C_C) и критерии объемно-силуэтной группировки (C_V), которые обеспечивают единую основу для оценки последующих результатов генерации и сравнительного анализа.

2.1. Объекты исследования

В данном разделе определяются объекты исследования, используемые в качестве стандартизированных исходных данных для последующей разработки лекал, виртуальной примерки, измерения и сравнительной оценки. Были выделены четыре категории объектов: чертежи, мужские фигуры, материалы и референсные изображения реальных пальто покроя реглан.

Чертежи. Для формирования объектной базы были отобраны и систематизированы базовые прототипы стана, прототипы рукава реглан и полные комплекты лекал пальто покроя. Такая структура чертежей позволяет проследить формирование структуры пальто от основы стана через логику построения рукава до окончательной конфигурации лекал пальто.

В качестве объектов исследования были выбраны три базовых прототипа, широко используемые в производственной и образовательной сферах Китая и отражающие различные правила построения стана для последующего

проектирования рукава реглан. На рисунке 2.1 показаны три мужских базовых прототипа P1, P2 и P3.

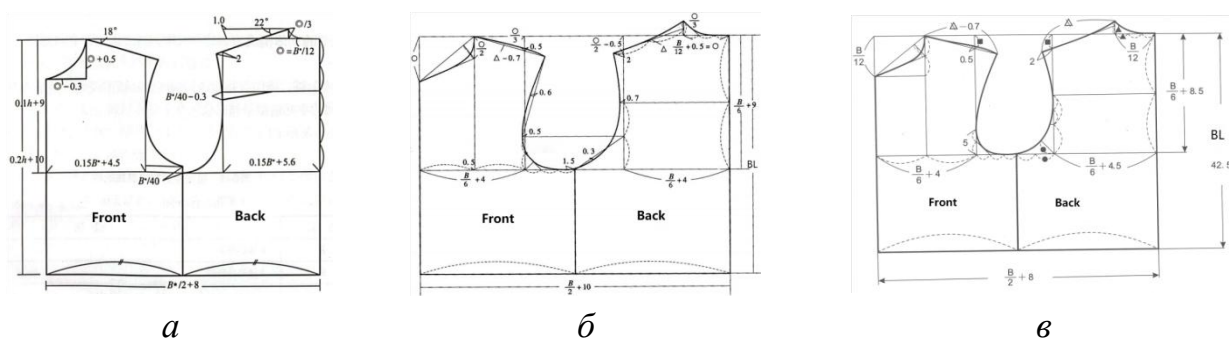


Рисунок 2.1 - Китайские прототипы базовых конструкций мужской одежды: а – P1, Университет Дунхуа [20]; б – P2, Пекинский институт моды и технологий [21]; в – P3, X. Xiong [22] (единица измерения: см).

Как показано на рис. 2.1, три прототипа представлены в виде деталей переда и спинки с обозначением основных контрольных измерений, таких как ширина полочки, ширина спинки, линия горловины, а также передний и задний плечевые скаты. В таблице 2.1 дополнительно обобщены основные различия лекал между P1, P2 и P3.

Таблица 2.1 - Основные параметры построения базовых прототипов P1, P2 и P3

| Параметры построения (см, если не указано иное) | P1 | P2 | P3 |
|---|---|------------------|----------------|
| Прибавкапо линиигруди | 16 | 20 | 16 |
| Длинаспинки | $0.2H + 10$ | Длинаспинки | 42.5 |
| Глубинапроймы | $0.1H + 9$ | $0.167B + 9$ | $0.167B + 8.5$ |
| Ширинапереда | $0.15B + 4.5$ | $0.167B + 4$ | $0.167B + 4$ |
| Ширинаспинки | $0.15B + 5.6$ | $0.167B + 4$ | $0.167B + 4.5$ |
| Ширинагорловиныпереда | $0.083B$ | $0.083B + 0.5$ | Явнонеуказана |
| Глубинагорловиныпереда | $0.028B$ | $0.028B + 0.167$ | Явнонеуказана |
| Ширинагорловиныспинки | $0.083B - 0.3$ | Явнонеуказана | Явнонеуказана |
| Глубинагорловиныспинки | $0.028B + 0.5$ | $0.083B + 0.5$ | Явнонеуказана |
| Вытачкаспинки | $0.025B - 0.3$ | Отсутствует | Отсутствует |
| Нагруднаявытачкапереда | $0.025B$ | Отсутствует | Отсутствует |
| Наклонплечевогоската, ° | Перед 18° , спинка 22° | Явнонеуказан | Явнонеуказан |

Примечание: H обозначает рост, B — обхват груди третий.

Как показано в таблице 2.1, базовые прототипы различаются по величине

прибавок, пропорциям стана, построению проймы, оформлению горловины, конфигурации вытачек и оформлению плечевого участка. Эти различия отражают различные структурные правила, лежащие в основе трех прототипов. В частности, различие в оформлении плечевого участка, включая положение плечевой точки и построение переднего и заднего плечевых скатов, рассматривалось как методически важное, поскольку оно было непосредственно связано с последующей процедурой оценки и корректировки прототипов.

В дальнейшем были проанализированы три прототипа рукава реглан P4, P5 и P6. Эти прототипы широко применяют в Китае и имеют выраженные различия в правилах построения. Прототипы были построены на основе одного и того же усовершенствованного базового прототипа с контролируемыми параметрами стана. На рисунке 2.2 показаны три прототипа рукава реглан; исходные чертежи представлены на рисунке А.1 в приложении А.

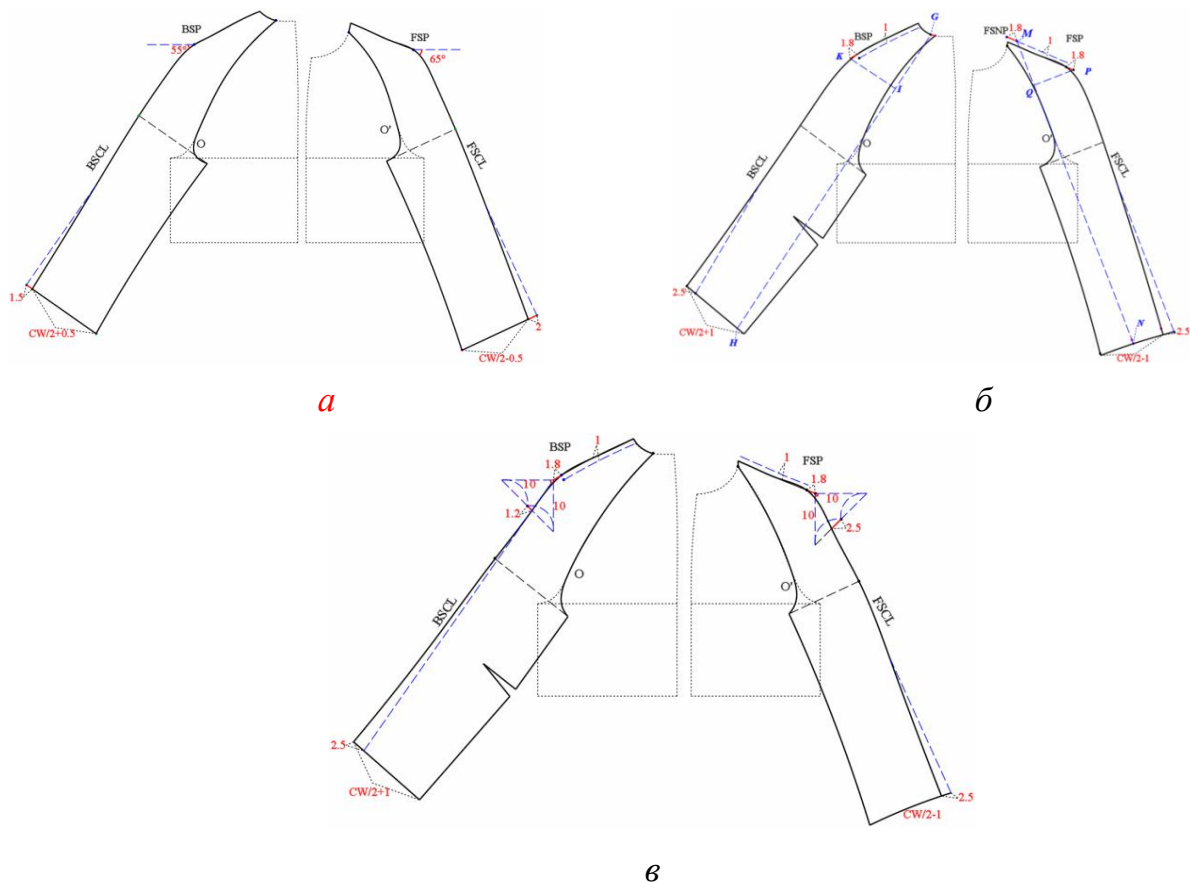


Рисунок 2.2 - Схемы чертежей рукава реглан: а – метод угла (P4); б – метод параллельного построения (P5); в – метод треугольника 10×10 (P6)

Как показано на рисунке 2.2, схемы построения трех прототипов рукава реглан различаются: P4 использует угол в плечевой области в качестве основного способа управления для определения направления рукава реглан и распределения

плечево-рукавной структуры; P5 (метод параллельного построения) регулирует взаимосвязь между швом рукава и средней линией рукава посредством параллельного построения и равноудаленного переноса; P6 (метод треугольника) задает геометрические ограничения для положения плечевой точки и угла между плечевой областью и рукавом путем построения треугольных элементов с фиксированными пропорциями в области плеча. В таблице 2.2 обобщены ключевые различия в правилах построения между P4, P5 и P6.

Таблица 2.2- Ключевые правила построения трех прототипов рукава реглан

| Параметры построения, см (если не указано иное) | P4 | P5 | P6 |
|---|---------------|-------------|-------------|
| Угол наклона средней линии передней части рукава, ° | 65° | | |
| Угол наклона средней линии задней части рукава, ° | 55° | | |
| Ширина передней части рукава внизу | $0.5CW - 0.5$ | $0.5CW - 1$ | $0.5CW - 1$ |
| Ширины задней части рукава внизу | $0.5CW + 0.5$ | $0.5CW + 1$ | $0.5CW + 1$ |
| Величина смещения плечевых линий | 0 | 1 | 1 |
| Прибавка к ширине плечевого ската | 0 | 1.8 | 1.8 |
| Разница между шириной передней и задней частей рукава | 1.6 | 2.1 | 2.5 |
| Локтевая вытачка | 0 | 1.8 | 1.8 |
| Смещение средней линии передней части рукава внизу рукава | -2 | -2.5 | -2.5 |
| Смещение средней линии задней части рукава внизу рукава | -1.5 | 2.5 | 2.5 |

Примечание: CW обозначает ширину низа рукава

Как показано в таблице 2.2, эти различия проявляются главным образом в контроле средней линии рукава, распределении ширины низа рукава между передней и задней частями, перемещения и продолжения линии плеча, различии ширины передней и задней частей рукава, наличии локтевой вытачки и смещении средней линии рукава на уровне низа рукава. Эти особенности показывают, что P4, P5 и P6 воплощают различные структурные стратегии управления конфигурацией плечо-рукав.

Были проанализированы 23 комплекта лекал пальто покроя реглан для выявления и систематизации ключевых параметров, влияющих на форму, а также

были сопоставлены результаты формообразования различных методов построения лекал в условиях 3D-виртуальной примерки. На рисунке 2.3 показаны два типичных метода построения лекал пальто с рукавом реглан.

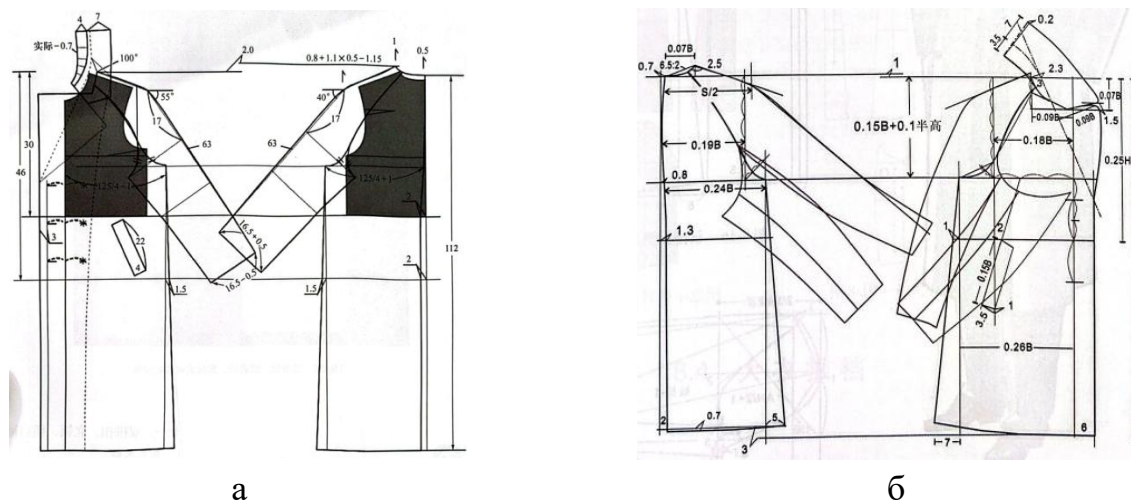


Рисунок 2.3 - Лекала пальто с рукавом реглан: *а*-двухшовный рукав, построенный с использованием метода базового прототипа [20]; *б* - трехшовный рукав, построенный с использованием пропорционального метода [21]

Как показано на рисунке 2.3, для пальто используют два типичных метода построения рукавов. Эти два метода рассматривали как репрезентативные типы конструкции пальто и использовали для определения различий по членению деталей рукава, соединению со станом и ключевым контрольным положениям. Поэтому они были включены в последующую реорганизацию параметров лекал и сравнительный 3D-анализ в качестве репрезентативных входных данных конструкции пальто.

Мужские фигуры. В данном исследовании выбраны типовая фигура и набор аватаров разных антропометрических вариантов. Типовая фигура имела размеры: рост 182 см, обхват груди 100 см, обхват талии 84 см и обхват бедер 104 см. Эти размерные признаки определены в соответствии с китайским национальным стандартом «Размеры одежды для мужчин» (GB/T 1335.1-2008). Для оценки посадки были использованы 20 аватаров с одинаковым ростом 182 см, пятью уровнями обхвата груди (88, 92, 96, 100 и 104 см) и четырьмя категориями полноты (Y, A, B и C), соответствующие разности между обхватом груди и талии 22, 16, 11 и 6 см.

Ткани. В данном исследовании были выбраны три репрезентативных образца ткани, обозначенные как F1, F2 и F3. Эти ткани представляют три типичных варианта, используемых в производстве пальто, а именно легкую, среднюю и тяжелую ткань. В качестве воспроизводимых параметров были

зафиксированы волокнистый состав, поверхностная плотность и толщина. В таблице 2.3 представлены основные характеристики F1–F3.

Таблица 2.3- Показатели свойств трех репрезентативных тканей

| Ткани | Волокнистый состав | Масса, г/м ² | Толщина, мм |
|-------|--------------------|-------------------------|-------------|
| F1 | Хлопок | 168 | 0,31 |
| F2 | Полиэстер | 259 | 0,74 |
| F3 | Шерсть | 544 | 1,15 |

Зафиксированные характеристики использовали для генерации цифровых двойников в последующих 3D-симуляциях.

Фотографии пальто с рукавом реглан. Фотографии пальто с рукавом реглан были использованы для вычисления проекционных параметров, отражающих реальные формы пальто, включая общий силуэт, конфигурацию членения в плечево-рукавной области, направление деталей рукава, разделение передней и задней частей рукава, распределение складок и пространственное соотношение между рукавом и рукой. Были собраны 230 фотографий высокого разрешения премиальных брендов и фотографии реальных пальто.

2.2. Цифровой рабочий процесс и программная среда

Для обеспечения проведения всей экспериментальной процедуры в рамках единого стандартизированного цифрового рабочего процесса были использованы девять программных инструментов, охватывающих разработку 2D-лекал, 3D-виртуальную примерку, генерацию изображений с использованием искусственного интеллекта, извлечение контуров, измерение 2.5D проекционных параметров, геометрический анализ, измерение воздушного зазора, статистический анализ и подготовку графических материалов. Эти программные средства использовали как единый интегрированный рабочий процесс, связывающий построение лекал, виртуальное моделирование, генерацию изображений, извлечение параметров, геометрический анализ, статистическую обработку и визуализацию. В таблице 2.4 представлены конкретные задачи, а также соответствующие входные и выходные данные каждого программного инструмента.

Таблица 2.4- Программные инструменты и их задачи

| Информация о программном обеспечении | Компания | Основные задачи | Основные входные данные | Основные выходные данные |
|--------------------------------------|--|---|---|--|
| Richpeace CAD V8 | TIANJIN RICHPEACE AI CO., LIMITED (Китай) | Разработка 2D-лекал | Определение структуры лекал; размерные параметры | Файлы 2D-лекал |
| ET 2020 | Shenzhen Buyi Technology Co., Ltd. (Китай) | Поддержка 2DCAD для одежды; промышленная обработка лекал; подготовка файлов лекал для производственного использования | Детали лекал; структурные размеры; файлы 2D-лекал | Отредактированные файлы лекал; готовые к производству 2DCAD-файлы |
| Style3D V9.0 | Zhejiang Lingdi Digital Technology Co., Ltd. (Китай) | 3D-виртуальная примерка | 2D-лекала; размерные признаки тела; свойства материалов | Виртуальная фигура; визуализированные изображения 3D-одежды |
| Grok 3 | xAI (США) | Генерация изображений с использованием искусственного интеллекта | Текстовые описания; проекционные параметры; референсные изображения | Изображения тела, сгенерированные ИИ; изображения пальто, сгенерированные ИИ |
| Adobe Illustrator 2024 | Adobe (США) | Трассировка контуров; извлечение 2.5D проекционных параметров | Визуализированные изображения; реальные фотографии примерки | Контурные линии; 2.5D проекционные параметры |
| CorelDRAW 2020 | Alludo (Канада) | Доработка технических чертежей; редактирование рисунков и компоновки; визуальная разметка и подготовка | Векторные чертежи; схемы лекал; технические рисунки | Отредактированные технические рисунки; иллюстрации, готовые к компоновке; графические материалы, |

| | | диаграмм | | готовые к публикации |
|-------------------------|------------------------------|---|------------------------------------|--|
| Rhinoceros 7.0 | Robert McNeel & Assoc. (США) | Извлечение поперечных размеров тела/одежды; измерение воздушного зазора | 3D-модели тела и одежды | Поперечные размеры тела и одежды; данные воздушного зазора |
| IBM SPSS Statistics V26 | IBM (США) | Описательная статистика; проверка значимости; регрессионное моделирование | Таблицы измерительных данных | Статистические показатели; результаты тестов; параметры регрессионной модели |
| Origin 2021 | OriginLab Corporation (США) | Построение статистических графиков и визуализация результатов | Таблицы статистических результатов | Рисунки и графики |

Как показано в таблице 2.4, в данном исследовании был реализован цифровой процесс обработки данных. Во-первых, лекала были построены в RichreaseCADV8 и ET 2020, включая базовые прототипы, прототипы рукава реглан и лекала пальто с рукавом реглан, что позволило сформировать единую библиотеку входных 2D-лекал. Во-вторых, лекала были импортированы в Style3DV9.0, где фигура и оцифрованный материал применялись для получения соответствующих аватаров и 3D-изображений одежды посредством моделирования виртуальной примерки. Как для визуализированных изображений, так и для реальных фотографий трассировка контуров выполнялась в AdobeIllustrator 2024, а 2.5D проекционные параметры измерялись в CorelDRAW 2020 при единых ограничениях точки обзора и правилах измерения; затем был сформирован набор проекционных параметров для последующих глав. Кроме того, изображения тела, сгенерированные искусственным интеллектом, и изображения пальто с рукавом реглан были получены с использованием Grok 3 для обеспечения источника изображений, согласованного с последующим сравнительным анализом. Rhinoceros 7.0 использовался для извлечения поперечных размеров тела и одежды, а также для измерения пространственного воздушного зазора между фигурам и одеждой, что позволяло характеризовать их пространственное соотношение. Наконец, IBMSPSSStatisticsV26 применялся для анализа данных, включая описательную статистику и регрессионное моделирование, а Origin 2021

использовался для построения статистических графиков и визуализаций, необходимых для последующих глав.

Данный интегрированный цифровой рабочий процесс обеспечивает методическую согласованность, воспроизводимость и прослеживаемость на всех экспериментальных этапах.

2.3. Количественная схема системы «фигура + пальто»

На данном этапе были установлены единая система параметров, спецификация измерений и количественная схема для системы «фигура + пальто». В частности, были определены антропометрические параметры, параметры лекал и 2.5D проекционные параметры, а также соответствующие правила измерения, метрики отклонений и методы статистического расчета. Данные спецификации обеспечивают согласованность и воспроизводимость извлечения параметров, оценки посадки и сравнения на основе изображений, а также формируют единую количественную основу для последующего сравнения и анализа данных из различных источников.

2.3.1. Геометрическая параметризация системы «фигура + пальто»

В данном подразделе сначала определяются антропометрические параметры верхней части тела, а затем систематизируются ключевые параметры лекал рукава реглан, чтобы сформировать единую геометрическую основу для последующей корректировки прототипов, количественного описания лекал и анализа формы.

Параметризация фигур. Для нахождения ключевых плечевых точек и точного расчета углов наклона плечевых линий был использован метод кафедры конструирования швейных изделий Ивановского государственного политехнического университета[137]. С использованием аватаров измеряли вертикальные расстояния, горизонтальные смещения и расстояния между точками в области шеи, плеча и груди. Эти измерения позволили получить антропометрические параметры, непосредственно применимые для последующего построения чертежей, расчета плечевого ската и корректировки прототипа.

На рисунке 2.4 показан процесс измерения, который начинается с определения шести основных анатомических ориентиров: шейной точки сбоку (SNP), шейной точки спереди (FNP), шейной точки сзади (BNP), плечевой точки (SP), переднего угла подмышечной впадины (FAP) и заднего угла подмышечной впадины (BAP). В системе измерений SP дополнительно представлена как

передняя плечевая точка (FSP) и задняя плечевая точка (BSP) в соответствии с соответствующим видом проекции.

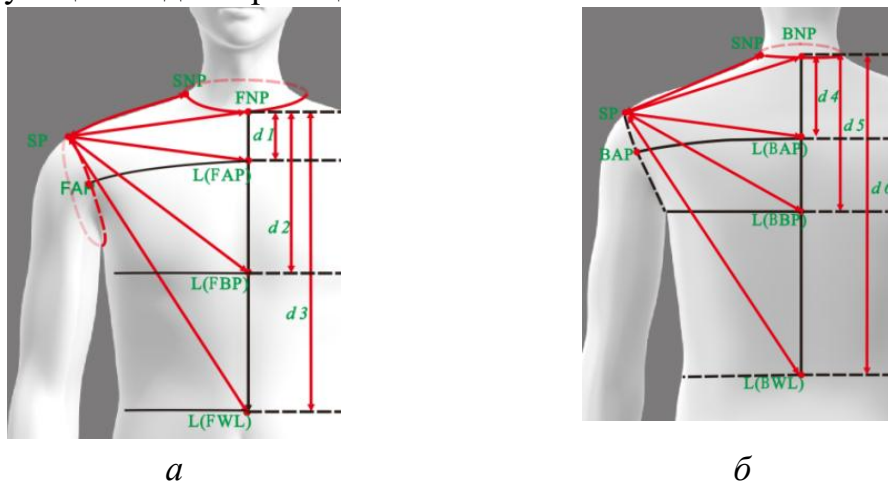


Рисунок 2.4 – Схема измерения размерных признаков для нахождения координаты плечевой точки: *а* – измерения на виде спереди; *б* – измерения на виде сзади

На основе этих измерений были определены 15 геометрических параметров, характеризующих морфологию верхней части торса. К ним относятся вертикальные расстояния от точек горловины (FNP, BNP) до опорных горизонтальных уровней, включая уровни проймы, груди и талии, обозначенные как d1–d6; горизонтальные расстояния от этих уровней до плечевых точек, такие как L(FAP)-FSP и L(FBP)-FSP; а также прямые расстояния между точками горловины и плечевыми точками, включая SNP–SP, FNP–FSP и BNP–BSP. Полный перечень измерений представлен в таблице 2.5.

Таблица 2.5 - Размерные признаки для параметризации верхней части тела

| № | Обозначение | Положение измерения |
|---|-------------|---|
| ① | SNP - SP | Расстояние от шейной точки сбоку до плечевой точки |
| ② | FNP - FSP | Расстояние от шейной точки спереди до плечевой точки |
| ③ | d1 | Вертикальное расстояние от шейной точки спереди до линии ширины груди |
| ④ | L(FAP)-FSP | Расстояние от середины ширины груди до плечевой точки |
| ⑤ | d2 | Расстояние от шейной точки спереди до линии груди |
| ⑥ | L(FBP)-FSP | Расстояние от середины груди до плечевой точки |

| | | |
|---|------------|---|
| ⑦ | d3 | Расстояние от шейной точки спереди до линии талии |
| ⑧ | L(FWL)-FSP | Расстояние от середины линии талии до плечевой точки |
| ⑨ | BNP-BSP | Расстояние от шейной точки сзади до плечевой точки |
| ⑩ | d4 | Расстояние от шейной точки сзади до ширины спины |
| ⑪ | L(BAP)-BSP | Расстояние от середины ширины спины до плечевой точки |
| ⑫ | d5 | Расстояние от шейной точки сзади до линии груди |
| ⑬ | L(BBP)-BSP | Расстояние от середины груди до плечевой точки |
| ⑭ | d6 | Расстояние от шейной точки сзади до линии талии |
| ⑮ | L(BWL)-BSP | Расстояние от середины талии до плечевой точки |

Как показано в таблице 2.5, 15 антропометрических измерений использовали для количественного описания ключевых размеров тела, необходимых для расчета плечевого ската и баланса стана.

Параметры чертежей. На основе предыдущих исследований технологии построения лекал рукава реглан, выполненных в Ивановском государственном политехническом университете [138], российский метод построения рукава реглан А был принят в качестве референсной схемы для реструктуризации параметров, как показано на рисунке А.2 приложения А. В рамках данной схемы 23 чертежей пальто реглан были обработаны. Прибавки к обхватам груди, плеча и запястья сохранялись постоянными. На рисунке 2.5 показаны ключевые точки лекала рукава реглан и соответствующая схема измерения параметров.

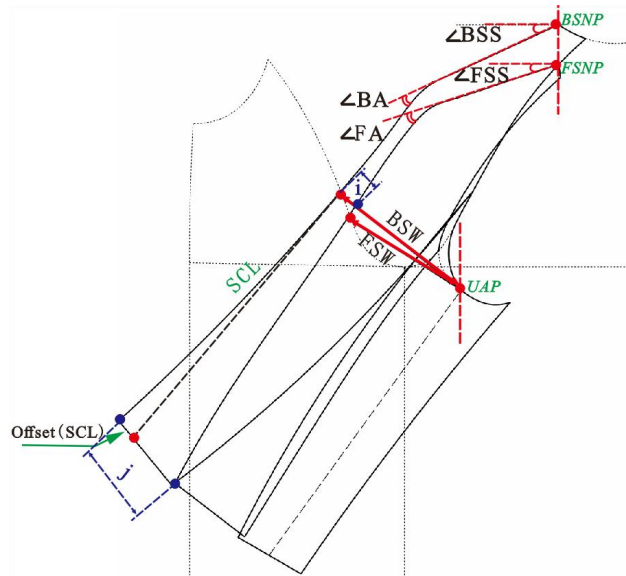


Рисунок 2.5- Схема расположения передней и задней частей для измерения параметров рукава реглан

Как показано на рисунке 2.5, совмещение подмышечных точек (UAP), начала плечевых линий (FSNP и BSNP) по одной вертикальной линии использовали для создания единой базы отсчета. Установленные параметры чертежей включают наклон плечевых линий (BSS, FSS), плечево-рукавный угол (BA, FA), шириной задней и передней частей рукава (BSW и FSW), смещение средней линии рукава Offset (SCL), а также величины перекрытия передней и задней частей рукава (i, j). Эти параметры определяют структурную конфигурацию рукава реглан в плечево-шейной области, плечево-рукавном соединении, всего рукава и низа рукава. Таблица 2.6 определяет параметры чертежей и схемы их измерения, а подробные измерения представлены в таблице А.1 приложения А.

Таблица 2.6- Схема количественного описания параметров лекал ($X_1 - X_{14}$)

| Индекс | Символ | Схема измерения |
|--------|-----------------------------------|---|
| X_1 | $\angle BSS$ | Угол наклона плечевой линии задней части |
| X_2 | $\angle FSS$ | Угол наклона плечевой линии передней части |
| X_3 | $\Delta(\angle BSS - \angle FSS)$ | Разница между задним и передним плечевыми углами |
| X_4 | $\Delta(\angle BSS + \angle FSS)$ | Сумма заднего и переднего плечевых углов |
| X_5 | $\angle BA$ | Угол между плечевой линией и средней линией задней части рукава (SCL) |

| | | |
|-----------------|---------------------------------|--|
| X ₆ | $\angle FA$ | Угол между передней плечевой линией и средней линией передней части рукава |
| X ₇ | $\Delta(\angle BA + \angle FA)$ | Сумма $\angle BA$ и $\angle FA$ |
| X ₈ | BSW | Ширина задней части рукава |
| X ₉ | FSW | Ширина передней части рукава |
| X ₁₀ | $\Delta(BSW - FSW)$ | Разница между шириной задней и передней частей рукава |
| X ₁₁ | Offset (SCL) | Смещение средней линии рукава вперед |
| X ₁₂ | i | Разница между передней и задней частями рукава на линии обхвата верхней части руки |
| X ₁₃ | j | Разница между передней и задней частями рукава на уровне низа рукава |
| X ₁₄ | $\Delta(i - j)$ | Разница между i и j |

С помощью эти параметров рукава реглан были количественно описаны для виртуальной примерки.

2.3.2. 2.5D проекционные параметры системы «фигура + пальто»

Построение 3D-аватара в основном основано на стандартизированных антропометрических данных. Style3D предоставляет 33 измерения по умолчанию, из которых 29 являются обхватными измерениями, два высотных измерения (рост и высоту паховой области), одно линейное измерение (ширина плеч) и одно угловое измерение (наклон плечевого ската). Эти измерения недостаточны для ИИ-генерации фронтального и профильного видов, т.е. детализированных 2D-изображений фигур. Поэтому для создания более полного описания человеческого тела в данном исследовании были использованы российские антропометрические и размерные стандарты: ГОСТ 17521-72 (1973) и ОСТ 17917-86 (2006). На их основе количество проекционных параметров было расширено за счет высот, фронтальных и профильных диаметров и углов. На рисунке 2.6 показаны 26 проекционных параметров, определенных во фронтальном и профильном видах; вместе они образуют стандартизированный набор входных параметров для изображений фигур, генерируемых ИИ.

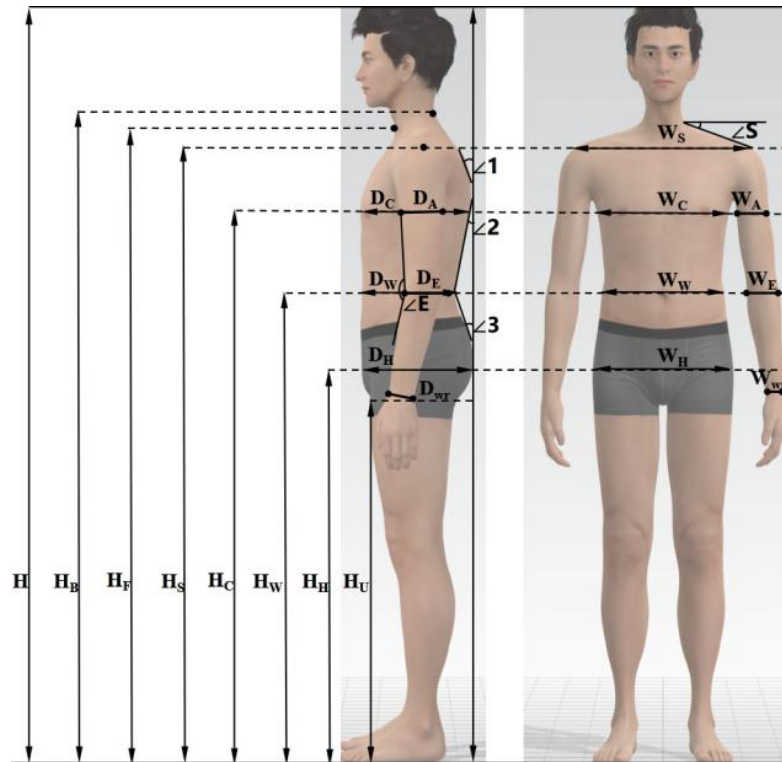


Рисунок 2.6 - Проекционные параметры 3D-аватара во фронтальном и профильном видах

В таблице 2.7 представлены размерные параметры, необходимые для генерации изображений тела с использованием искусственного интеллекта, включая измерения по умолчанию (H , H_U и W_S), а также дополнительные проекционные размерные параметры, введенные для повышения точности генерации ИИ.

Таблица 2.7 - Определение 2.5D проекционных параметров тела

| Размеры | Схемы измерения | Размеры | Схемы измерения |
|---------|---|----------|-------------------------------------|
| H | Полный рост тела от верхушечной точки головы до плоскости стояния | W_A | Поперечный диаметр обхвата плеча |
| H_S | Высота плечевой точки | W_E | Поперечный диаметр обхвата локтя |
| H_U | Высота точки промежности | W_{WT} | Поперечный диаметр обхвата запястья |
| H_C | Высота линии груди | D_C | Передне-задний диаметр груди |
| H_W | Высота линии талии | D_W | Передне-задний диаметр талии |
| H_H | Высота линии бедер | D_H | Передне-задний диаметр бедер |
| H_F | Высота шейной точки | D_A | Передне-задний диаметр обхвата |

| | спереди | | плеча |
|------------|------------------------------|------------|---|
| H_B | Высота шеной точки сзади | D_E | Передне-задний диаметр обхвата локтя |
| W_S | Плечевой диаметр | D_{wr} | Передне-задний диаметр обхвата запястья |
| W_C | Поперечный диаметр груди | $\angle E$ | Угол сгибания локтя в профильном проекции |
| W_W | Поперечный диаметр талии | $\angle 1$ | Угол наклона заднего контура «лопаточная точка–шейная точка сзади»: угол между вертикалью, касательной к лопаточной точке, и участком контура |
| W_H | Поперечный диаметр бедер | $\angle 2$ | Угол наклона заднего контура "лопаточная точка - линия талии": угол между вертикалью, касательной к лопаточной точке, и участком контура |
| $\angle S$ | Угол наклона плечевого ската | $\angle 3$ | Угол наклона «бедро–талиия»: угол между вертикалью, касательной к ягодичной точке, и участком контура |

Расширенный набор параметров обеспечивает более точный контроль положения тела, ориентации конечностей и профильного баланса на изображениях тела, генерируемых ИИ.

На основе вышеуказанных проекционных параметров тела был дополнительно разработан соответствующий набор проекционных параметров формы пальто. Параметры формы пальто определяли в тех же фронтальном и профильном видах, чтобы внешний силуэт пальто можно было точно описывать и сравнивать с фигурами.

На рисунке 2.7 показан комплексный набор проекционных параметров, извлеченный из 3D-виртуального пальто на фронтальном и профильном видах.

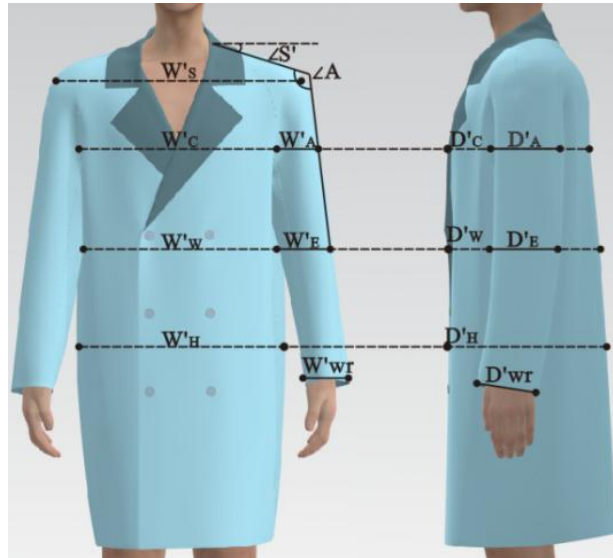


Рисунок 2.7- Проекционные параметры пальто во фронтальном и профильном видах

Как показано на рисунке 2.7, проекционные параметры количественно описывают размеры стана и рукавов в ключевых участках, включая плечо, грудь, талию, бедра, пройму, локоть и низ рукава. В таблице 2.8 представлены проекционные параметры виртуального пальто и схемы их измерения.

Таблица 2.8- Определение 2.5D проекционных параметров формы пальто с рукавом реглан

| Размеры | Схемы измерения | Размеры | Схемы измерения |
|-------------|--|------------|--|
| W'_s | Фронтальная ширина стана на уровне плеч | $\angle A$ | Угол между плечевой линией и средней линией рукава |
| W'_c | Фронтальная ширина стана на уровне груди | D'_c | Профильное расстояние между передней и задней средними линиями на уровне груди |
| W'_w | Фронтальная ширина стана на уровне талии | D'_w | Профильное расстояние между передней и задней средними линиями на уровне талии |
| W'_h | Фронтальная ширина стана на уровне бедер | D'_h | Профильное расстояние между передней и задней средними линиями на уровне бедер |
| W'_a | Фронтальная ширина рукава на уровне проймы | D'_a | Профильная ширина рукава на уровне проймы |
| W'_e | Фронтальная ширина рукава на уровне локтя | D'_e | Профильная ширина рукава на уровне локтя |
| W'_{wr} | Фронтальная ширина низа рукава | D'_{wr} | Профильная ширина низа рукава |
| $\angle S'$ | Угол наклона плечевого ската | | |

2.3.3. Унифицированная измерительная схема

Для проведения многоуровневой количественной оценки структурной точности ИИ-сгенерированной системы «фигура + пальто» была разработана система векторных метрик отклонений по четырем направлениям: достоверность генерации тела, точность формы пальто, структурная согласованность системы «фигура + пальто» при одевании и точность генерации различных объемно-силуэтных форм. Все проекционные параметры измеряли на фронтальном и профильном видах в соответствии с протоколом, подробно представленным в разделе 2.3.2.

На основе проекционных параметров определена система векторов и метрики отклонений:

1) проекционные векторы, связанные с фигурам:

R_B (RealBody): проекционный вектор, извлеченный из измерений реального тела и используемый в качестве истинного эталонного ориентира;

V_B (3Davatar): проекционный вектор, извлеченный из виртуального аватараStyle3D;

AIB_A, AIB_B : проекционные векторы AI-сгенерированных тел, полученных с помощью Grok 3 с использованием метода A (текст + 2.5D проекционные значения) и метода B (текст + 2.5D проекционные значения + 3D-референсные изображения) соответственно;

AIB_C : проекционный вектор скрытого тела, восстановленного после AI-удаления пальто из одетого изображения «фигура + пальто», используемый для оценки того, сохраняется ли морфология тела при AI-сгенерированном одевании;

$W_R = \{ S, C, W, H, A, E, W_r \}$: проекционный вектор ширин реального тела, включающий ширину плеч, ширину груди, ширину талии, ширину бедер, ширину проймы, ширину локтя и ширину запястья, измеренные по физическим субъектам;

$W_F = \{ W_S, W_C, W_W, W_H, W_A, W_E, W_{wr} \}$: соответствующий проекционный вектор ширин AI-сгенерированного тела, извлеченный из AI-сгенерированного тела с помощью Grok 3;

2) проекционные векторы, связанные с пальто:

R_C : проекционный вектор реального пальто, извлеченный из фотографий физических изделий высокого разрешения;

V_C : проекционный вектор виртуального пальто, смоделированного в Style3D;

AIC : проекционный вектор AI-сгенерированного пальто, полученного с помощью Grok 3;

$AIC_{S1...S4} = \{ AIC_{S1}, AIC_{S2}, AIC_{S3}, AIC_{S4} \}$: вектор, описывающий проекционные размеры AI-сгенерированных пальто различных объемно-силуэтных категорий (S1, S2, S3, S4), полученных с помощью Grok 3;

$VC_{S1...S4} = \{ VC_{S1}, VC_{S2}, VC_{S3}, VC_{S4} \}$: вектор, описывающий проекционные размеры виртуальных пальто различных объемно-силуэтных категорий (S1, S2, S3, S4), полученных с помощью Style3D;

$RC_{S1...S4} = \{ RC_{S1}, RC_{S2}, RC_{S3}, RC_{S4} \}$: вектор, описывающий проекционные размеры реальных пальто различных объемно-силуэтных категорий (S1, S2, S3, S4).

Символы S1 (прилегающий), S2 (полуприлегающий), S3 (полусвободный) и S4 (свободный силуэты) обозначают четыре объемно-силуэтные категории, определенные в разделе 2.4.3 на основе прибавки по линии груди и двух проекционных показателей: AL (проекция ширины рукава на линии проймы) и EL (проекция ширины рукава на линии локтя). Каждый подвектор, например AIC_{S1} , имеет ту же семимерную структуру проекционных ширин, что и W_F , соответствующую уровням плеча, груди, талии, бедер, проймы, локтя и низа рукава. Силуэтные метрики проверяют, сохраняет ли сгенерированное или смоделированное пальто геометрическую согласованность в различных объемно-силуэтных категориях.

На основе приведенных выше определений векторов метрики отклонений были организованы в четыре группы оценки:

(1) точность генерации AIB, оценивающая геометрическую согласованность между AI-сгенерированными телами и реальными фигурами человека;

(2) точность формы пальто, оценивающая структурное соответствие между виртуальными пальто, AI-сгенерированными пальто и физическими изделиями;

(3) согласованность системы «фигура + пальто», проверяющая, сохраняется ли морфология скрытого тела при AI-сгенерированном одевании;

(4) способность к силуэтному обобщению, измеряющая способность модели сохранять точность формы в различных объемно-силуэтных категориях.

Все отклонения рассчитывали с использованием проекционных векторов, определенных в разделе 2.3.2. Полный набор уравнений представлен ниже:

$$\Delta_{WS... W_{wr}} = W_{AIB} - W_{RB} \quad (2.8)$$

$$\Delta 1 = RB - VB \quad (2.9)$$

$$\Delta 2 = RB - AIB_A \quad (2.10)$$

$$\Delta 3 = RB - AIB_B \quad (2.11)$$

$$\Delta 4 = RB - AIB_C \quad (2.12)$$

$$\Delta 5 = AIB_B - AIB_C \quad (2.13)$$

$$\Delta_6 = VC - RC \quad (2.14)$$

$$\Delta_7 = AIC - RC \quad (2.15)$$

$$\Delta_{AIC,S1...S4} = AIC_{S1...S4} - RC_{S1...S4} \quad (2.16)$$

$$\Delta_{VC,S1...S4} = VC_{S1...S4} - RC_{S1...S4} \quad (2.17)$$

где $\Delta_{ws... wwr}$ - вектор отклонений проекционных ширин AIB относительно эталонного вектора реального тела; Δ_1 - базовое отклонение VB от RB; Δ_2 и Δ_3 - отклонения AIBs, сгенерированных *методом А* и *методом В*, от RB соответственно; Δ_4 - отклонение восстановленного скрытого тела от реального тела, тогда как Δ_5 фиксирует структурный сдвиг между ИИ-сгенерированным фигурам до одевания и восстановленным скрытым фигурам после ИИ-одевания; Δ_6 - расхождение между VC и RC, тогда как Δ_7 измеряет расхождение между AIC и RC; $\Delta_{S1...S4}$ - силуэтное отклонение между виртуальными и реальными пальто в четырех объемно-силуэтных категориях; $\Delta_{AIC_{S1...S4}}$ - силуэтное отклонение между ИИ-сгенерированными и реальными пальто в тех же четырех категориях. Знак каждого вектора отклонения указывает направление структурного отклонения, тогда как абсолютные значения могут использоваться для расчета величин отклонений.

Метрики отклонений, определенные в уравнениях (2.8–2.17), формируют комплексную многоуровневую схему оценки структурной достоверности AI-сгенерированных систем «фигура + пальто». В совокупности они обеспечивают единую основу для оценки точности генерации тела, точности формы пальто, согласованности системы «фигура + пальто» и силуэтного обобщения в рамках одной и той же системы проекционных параметров. Данная схема используется в последующих главах для поддержки количественного сравнения ИИ-сгенерированных результатов с измерениями реального тела, референсами реального пальто и стандартными виртуальными симуляциями.

2.3.4. Методы статистического анализа

В данном исследовании был применен комплекс статистических и расчетных методов, чтобы обеспечить выполнение агрегирования параметров, оценки отклонений и сравнительного анализа в рамках единого расчетного протокола.

Для обобщения центральной тенденции каждого параметра рассчитывали среднее арифметическое значение (AV):

$$AV = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad (2.1)$$

где X_i - отдельное измерение, n - общее число измерений.

Для количественной оценки разброса измерений относительно среднего значения и, следовательно, для оценки согласованности заданного силуэтного признака рассчитывали стандартное отклонение (SD):

$$SD = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - AV)^2} \quad (2.2)$$

Для отражения степени разброса данных коэффициент вариации (RD) использовали для количественного определения отношения диапазона колебаний, определяемого как разниця между максимальным и минимальным значениями, к среднему значению набора данных:

$$RD = \frac{MAX - MIN}{AV} \quad (2.3)$$

где MAX и MIN обозначают максимальное и минимальное значения в выборке, AV- среднее значение набора данных. В данном исследовании RD использовали для оценки морфологической вариативности 95 образцов верхней одежды с рукавом реглан на трех критических поперечных уровнях: ширине плеч, ширине проймы и ширине талии. Более высокое значение RD указывает на более значительное относительное колебание силуэтного размера в конкретной зоне, тем самым отражая более высокую степень дизайнерского разнообразия или структурной чувствительности.

Для количественной оценки отклонений между сгенерированными или смоделированными результатами пальто и референсами реального пальто рассчитывали относительную ошибку (RE):

$$RE_i = \frac{X_{gen,i} - X_{RC,i}}{X_{RC,i}} \times 100\% \quad (2.4)$$

где $X_{gen,i}$ обозначает проекционное измерение, извлеченное из AIC или VC, $X_{RC,i}$ - соответствующее измерение, извлеченное из RC. Поскольку RE_i сохраняет знак, она показывает, завышает ли сгенерированный или смоделированный силуэт ($RE_i > 0$) или занижает ($RE_i < 0$) референсное значение по каждому измерению. Данная формулировка обеспечивает более детальную оценку систематических искажений в AI-ориентированной генерации одежды и виртуальной симуляции,

тем самым поддерживая целевое уточнение как генеративных моделей, так и виртуальных симуляционных процессов.

Для оценки общей величины геометрических расхождений между сгенерированными или смоделированными силуэтами и референсными силуэтами рассчитывали среднюю абсолютную относительную ошибку (MARE):

$$\text{MARE} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{X_{gen,i} - X_{RC,i}}{X_{RC,i}} \right| \times 100\% \quad (2.5)$$

где n - общее число оцениваемых проекционных параметров, $X_{gen,i}$ и $X_{RC,i}$ определены, как в уравнении (2.5).

Для локализации вариации точности MARE дополнительно агрегировали на двух уровнях: (i) на уровне видов с использованием фронтальных параметров ширины W' и профильных параметров ширины D' ; и (ii) на уровне региональных подмножеств, где набор параметров разделялся на подмножества стана и рукава, а угловые параметры ($\angle S'$, $\angle A$) рассматривали как отдельную группу. В совокупности RE и MARE использовали как основные метрики ошибок для оценки локальной и общей точности формы в сгенерированных и смоделированных изображениях пальто.

Для оценки статистической надежности показателей среднего проекционного отклонения (MD) рассчитывали 95%-й доверительный интервал с использованием t-распределения:

$$\text{MD} = \mu \pm t_{\alpha/2} \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (2.6)$$

где μ - выборочное среднее отклонение, $t_{\alpha/2}$ - двустороннее критическое значение при $\alpha=0.05$, σ - стандартное отклонение, n - размер выборки. Данная статистика позволяла оценить истинное среднее отклонение в пределах статистически надежного интервала. Соответственно, доверительный интервал использовали для поддержки интерпретации результатов среднего отклонения в последующем структурном сравнении.

В совокупности эти формулы определяют единый статистический и расчетный протокол данного исследования.

2.4. Критерии оценки

На основе количественной схемы, установленной в разделе 2.3, были разработаны три взаимодополняющие группы критериев оценки: (1) критерии посадки стана, которые оценивают передне-задний баланс стана; (2) критерии

формы рукава, которые количественно характеризуют трехмерное позиционное соответствие и согласованность между рукавом реглан и рукой; (3) критерии группировки объемно-силуэтной формы, которые распределяют формы пальто с рукавом реглан по отдельным морфологическим категориям с четко определенными геометрическими признаками на основе ключевых конструктивных линий, непосредственно связывающих элементы 2D-лекал с 3D-формой.

В совокупности эти критерии образуют интегрированную систему оценки, которая обеспечивает как качественную классификацию, так и межмодальное количественное сравнение посадки и формы пальто с рукавом реглан в реальных, виртуальных и AI-сгенерированных представлениях системы «фигура + пальто».

2.4.1. Критерии посадки стана

Для обеспечения объективной оценки баланса и посадки стана был установлен набор количественных критериев на основе 3D-виртуальных примерок мужских базовых прототипов с учетом исследований, выполненных в Ивановском государственном политехническом университете. Баланс стана S_B обеспечивает базовое структурное условие для последующей оценки баланса рукава реглан.

Разработка набор критериев S_B включало три основных этапа.

1) Построение чертежей прототипов P1, P2 и P3 в программе RichreaseCADV8 для пяти вариантов обхвата груди 88, 92, 96, 100 и 104 см.

2) Построение аватаров китайских мужчин Y, A, B и C, определенных в разделе 2.1.2. Основные размерные признаки этих аватаров были заданы в соответствии с GB/T 10000–2023 согласно китайской системе размеров мужской одежды.

3) Виртуальная примерка и анализ посадки в Style3D с использованием одинакового материала F1 и одинаковых настроек симуляции.

По результатам 60 виртуальных примерок были выявлены различные уровни посадки стана. Различия в посадке оценивали тремя метриками, относящихся к горизонтальности линии низа (d_F , d_B), отвесности переднего и заднего профильных контуров (a_F , b_B) и наличию складок (c). Затем эти метрики были преобразованы в четыре количественных индекса для измеримого описания баланса и посадки стана. На рисунке 2.8 показаны метрики бокового вида (a_F , b_B , c , d_F , d_B), использованные для установления критериев посадки стана, а также репрезентативные примеры изделий с хорошей и неудовлетворительной посадками.

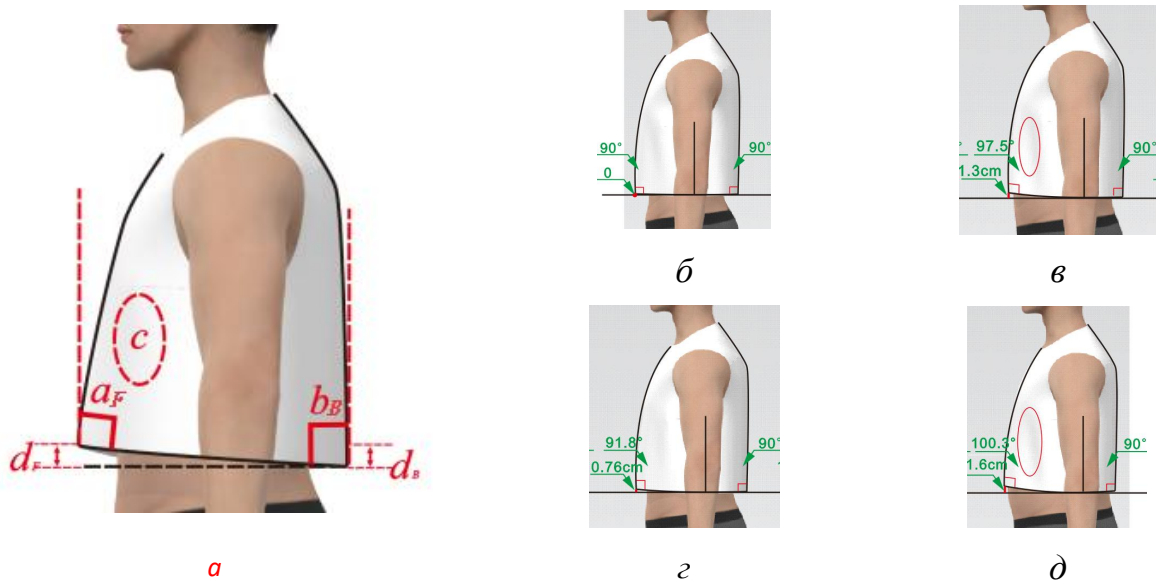


Рисунок 2.8.- Схема измерения параметров для оценки посадки и баланса стана на виде сбоку: *a* - углы наклона контуров стана a_F и b_B , показатель наличия складок c , отклонения от горизонтали линии низа стана d_F и d_B ; *б* - образец с хорошей посадкой; *в-д* - образцы с неудовлетворительной посадкой

В совокупности эти параметры описывают геометрический баланс стана и наличие деформации поверхности, вызванной дисбалансом стана. Полученные пороги восприятия были установлены как $\pm 2^\circ$ для углов и $\pm 0,8$ см для линейных величин, что соответствует пределам визуальной различимости [6]. Критерии посадки стана были определены следующим образом:

$$C_B = \{ a_F, b_B \in 88^\circ \dots 92^\circ; c = 0; (d_F + d_B) / 2 < 0.8 \text{ cm} \} \quad 2.1$$

Набор критериев C_B создает объективную основу для оценки баланса стана и сравнения прототипов P1–P3.

Для проверки согласованности и применимости предложенного набора критериев C_B в условиях виртуальной и физической примерки был дополнительно проведен сравнительный эксперимент при согласованных антропометрических данных, параметрах материалов и едином протоколе измерения. Четыре параметра C_B измеряли в обеих средах с использованием одной и той же процедуры. Процесс включал четыре основных этапа:

- 1) Выбор TB и построение соответствующего аватара в Style3D.
- 2) Виртуальная примерка прототипов P1, P2 и P3 с использованием трех цифровых материалов F1, F2 и F3 на выбранном аватаре (таблица 2.3).
- 3) Физическая примерка прототипов с использованием реальных материалов. Физические образцы, выполненные на основе трех прототипов, были изготовлены из соответствующих реальных материалов и примерены на

физические манекены, соответствующие размерным признакам аватара.

Полученные виртуальные и реальные образцы, результаты измерения их параметров C_B представлены на рисунке А.3 в ПРИЛОЖЕНИИ А.

4) Сравнительный анализ параметров посадки для каждого прототипа из материалов F1–F3 (таблица А.2 ПРИЛОЖЕНИЯ А).

В таблице 2.9 представлены средние значения параметров C_B для виртуальных и реальных образцов трех прототипов.

Таблица 2.9- Средние значения параметров C_B для виртуальных и реальных образцов трех прототипов

| Прототипы | Среда | a_F | b_B | c | $(d_F+d_B)/2$ |
|-----------|-------------|-----------|----------|---------|---------------|
| P1 | Виртуальная | 92.2±2.5 | 90.5±0.5 | 0 | 0.6±0.06 |
| | Реальная | 90.7±0.7 | 89.7±1.9 | 0 | 0.7±0.06 |
| P2 | Виртуальная | 99.4±1.5 | 92.8±2.5 | 0 | 1.9±0.5 |
| | Реальная | 97.5±3.78 | 93.7±1.9 | 0.7±0.6 | 2.1±0.2 |
| P3 | Виртуальная | 104.8±1.2 | 99.2±0.5 | 0 | 2.7±0.4 |
| | Реальная | 104.2±1.9 | 97.5±4.4 | 0.7±0.6 | 2.6±0.2 |

Как показано в таблице 2.9, для прототипа P1 средние различия между виртуальными и реальными значениями были минимальными: 1.5° для параметра a_F , 0.8° для параметра b_B , 0 для параметра c , 0.1 см для $(d_F+d_B)/2$. Как виртуальные, так и реальные результаты P1 были близки к допустимому диапазону C_B , что указывает на относительно хороший баланс стана. В случае прототипов P2 и P3 виртуальные и реальные результаты показали более значительные отклонения от пороговых значений C_B , особенно по параметру a и по $(d_F+d_B)/2$. Однако виртуальные и реальные образцы продемонстрировали согласованные тенденции параметров: прототипы с более выраженным угловым дисбалансом и большей величиной отклонения на уровне низа в виртуальной среде также показывали сходный дисбаланс в результатах физической примерки. В целом значения структурного баланса и наличие складок продемонстрировали согласованные оценочные тенденции между виртуальными и реальными образцами.

Эти результаты подтвердили, что предложенные критерии оценки посадки стана C_B могут применяться параллельно в условиях виртуальной и физической примерки при использовании разных материалов. Таким образом, выбор базового прототипа можно выполнять в виртуальной среде по установленным критериям C_B .

2.4.2. Критерии формы рукава

Были дополнительно разработаны критерии для оценки пространственного соответствия руки рукаву реглан. В естественном положении опущенная рука характеризуется небольшим сгибанием в локте и наклоном предплечья вперед. Эти характеристики систематически влияют на пространственное соотношение между рукавом и рукой и силуэт рукава. На рисунке 2.9 показаны схема параметризации этих характеристик руки.

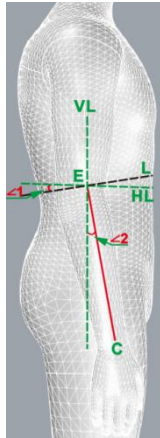


Рисунок 2.9- Форма мужской руки в естественном опущенном положении: сгибание в локте ($\angle 1$) и наклон предплечья вперед ($\angle 2$)

Как показано на рисунке 2.9, угол $\angle 1$ характеризует сгибание в локте и измеряется между линией L, перпендикулярной оси предплечья, и горизонтальной опорной линии HL, проходящих через локтевой сустав. Угол $\angle 2$ характеризует наклон предплечья вперед и измеряется между вертикалью VL и осью предплечья.

Для количественной оценки вариативности этих углов в Style3D были созданы 20 репрезентативных мужских аватаров с использованием данных китайской антропометрической базы. Для каждого аватара были измерены $\angle 1$ и $\angle 2$. Описательная статистика, представленная в таблице А.3 приложения А, показывает, что $\angle 1$ варьировался от $7,3^\circ$ до $13,4^\circ$ (среднее значение $8,9^\circ$, SD $1,5^\circ$), $\angle 2$ варьировался от $10,6^\circ$ до $15,7^\circ$ (среднее значение $12,2^\circ$, SD $1,4^\circ$). Поэтому эти два угла были приняты в качестве референсных параметров для оценки посадки рукава реглан с учетом морфологии руки.

Было дополнительно установлено, что изменения морфологии рукава реглан сопровождаются изменениями пространственного положения запястья

относительно низа рукава. В соответствии с этим была выдвинута рабочая гипотеза: посадку рукава реглан можно оценивать с помощью набора параметров формы, количественно описывающих расстояния между рукавом и рукой внизу. Данная гипотеза была проверена с использованием реальных фотографий рукавов реглан и 3D-виртуальной примерки.

Для установления количественных критериев посадки рукава реглан были выбраны в качестве референсных образцов высококачественные фотографии пальто реглан от премиальных брендов мужской одежды, а ряд измерительных показателей был извлечен с учетом предыдущих исследований [10 -13]. Для более точного анализа из исходного референсного набора реальных изображений были дополнительно отобраны 19 высококачественных фотографий (разрешение $\geq 1500 \times 1500$ px, размер файла ≈ 2.25 MB). Все фотографии были пропорционально масштабированы, а параметры рукава измеряли в AdobeIllustrator 2024.

Критерии отбора были следующими: (1) модель должна находиться в положении стоя с единым направлением обзора; (2) рука должна быть естественно опущена; (3) общая форма рукава должна быть хорошо видна, с плавными контурными линиями и без складок; (4) кисть руки должна быть видна; (5) зазор между рукавом и рукой должен быть четко виден.

На рисунке 2.10 показана схема измерения зазора внизу рукава в области запястья и положения средней линии рукава. В частности, FC обозначает расстояние между передним сгибом рукава и запястьем, BC обозначает расстояние между локтевым сгибом рукава и запястьем; d_A и d_E обозначают расстояния между средней линией рукава и передним сгибом рукава соответственно на уровнях обхватов плеча и локтя.



Рисунок 2.10- Схема измерения положения рукава: $a - BC > 0, FC > 0$; $б - BC = 0; в - FC = 0$.

Как показано на рисунке 2.10, выделены три конфигурации «низ рукава — запястье»: (1) нейтральное положение; (2) контакт локтевого сгиба рукава ($BC = 0$, $FC \neq 0$); (3) контакт переднего сгиба рукава ($FC = 0$, $BC \neq 0$).

Описательная статистика показывает, что BC варьируется от 0 до 7.2 см ($AV = 2.3$ см, $SD = 1.8$ см), FC варьируется от 0 до 4.6 см ($AV = 2.3$ см, $SD = 1.4$ см), $|d_A - d_E|$ варьируется от 0 до 0.7 см ($AV = 0.3$ см, $SD = 0.2$ см), как показано в таблице А.4 приложения А. В целом описательная статистика показывает, что BC и FC имеют одинаковое среднее значение, хотя BC характеризуется несколько большей дисперсией, что свидетельствует о полезности обоих параметров для характеристики пространственного соотношения между рукавом и рукой на внизу рукава. Между тем $|d_A - d_E|$ находится в узких пределах, отражая высокостабильное геометрическое смещение.

На основе измерений референсных фотографий впоследствии были проведены виртуальные и реальные эксперименты для выявления ключевых параметров формы, определяющих посадку рукава реглан. В частности, были проанализированы влияния FC , BC и $|d_A - d_E|$ на посадку рукава. Кроме того, для дальнейшего усиления геометрической характеристики пространственной конфигурации «рукав - рука» был введен дополнительный 3D-дескриптор — воздушный зазор в локтевой точке (EC). EC количественно показывает воздушного зазора между рукавом и рукой в локтевой точке.

Определение FC как основного параметра формы внизу рукава. В предыдущем разделе были определены три положения внизу рукава: $FC = 0$, $FC = BC$ и $BC = 0$. Чтобы выявить условия, при которых наилучшим образом сочетаются подвижность руки и гладкость рукава, симуляции в Style3D выполняли в статических условиях и при контролируемом подъеме руки. На рисунке 2.11 показана параметризация, использованная для построения 3D-виртуальных моделей.

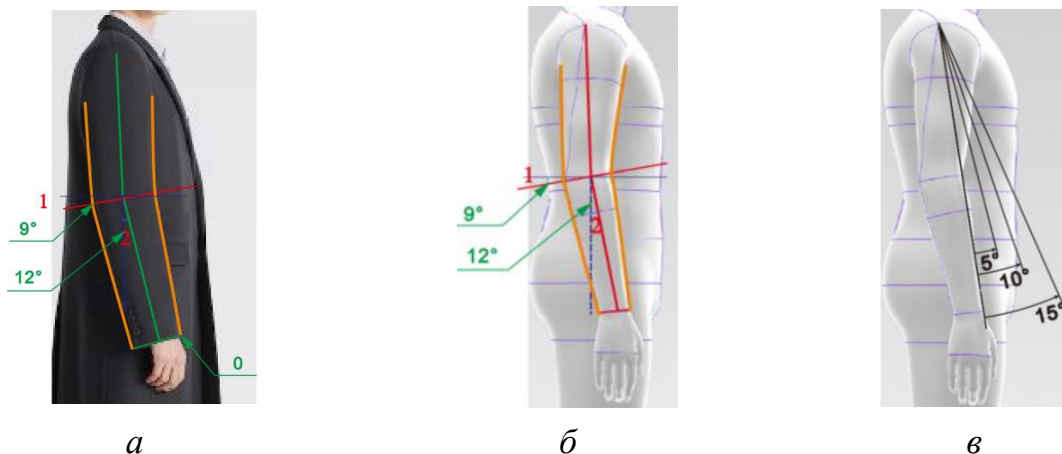
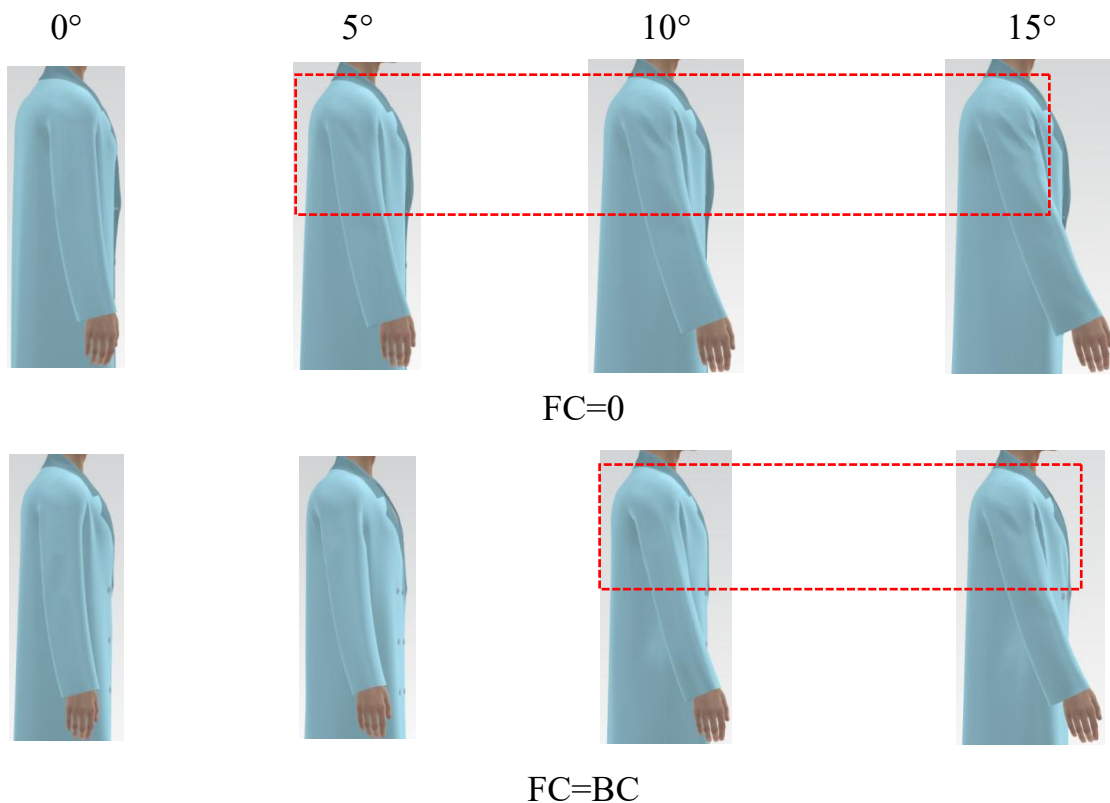


Рисунок 2.11- Параметризация руки и рукава: a – параметры рукава; b – параметры руки; v – угол подъема руки

Как показано на рисунке 2.11, a , угол 1 рукава между локтевой линией рукава и горизонтальной линией и угол 2 рукава между SCL и вертикальной линией были измерены по 19 отобранным фотографиям. Средние значения составили 9° для угла 1 и 12° для угла 2 . Эти значения были использованы для параметризации виртуальных аватаров (рисунок 2.11, б). Динамическая оценка выполнялась путем задания четырех углов подъема руки: 0° , 5° , 10° и 15° (рисунок 2.11, в), чтобы проверить стабильность формы рукава в пределах допустимого диапазона движения. Для оценки влияния выбранных параметров использовали виртуальные аватары с обхватами груди от 88 до 104 см с использованием лекал пальто китайской компании HEILANHOME, специализирующейся на мужских пальто. Прибавка по обхвату груди была 8 см.

На рисунке 2.12 выполнено сравнение внешнего вида рукава при трех условиях контакта внизу рукава для четырех углов подъема руки при условиях $FC = 0$, $FC = BC$, $BC = 0$. Таким образом, сравнение изолировало влияние конфигурации «низ рукава — рука» на стабильность формы рукава.





BC=0

Рисунок 2.12- Сравнение стабильности формы рукава при различных конфигурациях «низ рукава - рука»

Как показано на рисунке 2.12, при $FC = 0$ складки появлялись на рукаве уже при подъеме руки до 5° (выделено красной пунктирной рамкой). При увеличении угла подъема руки до 10° и 15° складки постепенно становились более выраженными. При $FC = BC$ складки начинали появляться при угле подъема руки 10° и становились более заметными при 15° . При $BC = 0$ рукав сохранял гладкую форму при подъеме руки от 0° до 15° без заметных складок.

Результаты показали, что при $BC = 0$ рукав сохраняет наиболее стабильную форму при всех углах подъема руки, что обеспечивает наиболее подходящую конфигурацию «низ рукава - рука» для установления критериев оценки посадки рукава. В данной конфигурации задний участок низа рукава находится в контакте с рукой, а передний зазор FC сохраняется как эффективное пространство, необходимое для учета естественного наклона предплечья вперед. Поэтому $BC = 0$ был определен как референсное условие оптимальной конфигурации «низ рукава - рука», а FC был принят в качестве основного параметра формы, связанного с низом рукава, для критериев формы рукава; его референсный диапазон был установлен как 1-4.3 см на основе измерений реальных фотографий.

Определение воздушного зазора в локтевой точке ЕС. Был введен дополнительный параметр - расстояния в локтевой точке - для более полного описания соответствия между рукавом и рукой. Данный параметр основан на морфологических характеристиках руки, связанных с наклоном предплечья вперед и сгибанием в локте, поскольку деформация рукава может возникать также в области локтя даже при допустимом положении низа рукава.

Путем изменения прибавки к обхвату груди из китайских учебников по конструированию одежды [19] были выбраны лекала пальто реглан с величинами прибавки 12, 16, 20 и 24 см. Таким образом, влияние общего объема пальто на соответствие между рукавом и рукой на уровне локтя было изучено при сохранении согласованности внизу рукава. На рисунке 2.13 показаны результаты виртуальной примерки пальто с рукавом реглан при различных значениях ЕСГ.

Рукава имели гладкий внешний вид и поэтому были пригодны для анализа воздушного зазора в локтевой точке.



Рисунок 2.13 - Определение воздушного зазора в локтевой точке ЕС при различных значениях $ECG = 12, 16, 20$ и 24 см: а – фронтальные виды при ECG слева направо; б – профильные виды при ECG слева направо.

Как показано на рисунке 2.13, увеличение ECG изменяет общий объем пальто и влияет на положение низа рукава. В рукавах с визуальной гладкой формой расстояние между рукавом и рукой на уровне локтя оставалось сравнительно стабильным. При изменении ECG от 12 до 24 см значение ЕС оставалось в пределах 0-0,3 см, тогда как FC варьировалось от 1,0 до 4,3 см, а ВС- от 0 до 1,2 см. Эти результаты показывают, что ЕС имеет более узкий диапазон изменения по сравнению с расстояниями, связанными с низом рукава, и поэтому является стабильным локальным дескриптором соответствия между рукавом и рукой на уровне локтя.

Поэтому диапазон $EC \in [0, 0.3]$ см был сохранен как второй критерий формы рукава, дополняющий FC за счет расширения оценки от зазора на уровне низа рукава к уровню локтя.

Определение параметра согласованности кривизны рукава $|d_A - d_E|$.

$|d_A - d_E|$ был дополнительно введен как параметр для оценки общей стабильности формы и согласованности линии рукава реглан.

Предыдущий сравнительный анализ форм прототипов рукава реглан показал, что визуально стабильные формы рукава соответствуют диапазону $|d_A - d_E| \in [0, 0.7]$ см. Это наблюдение показало, что разница между расстояниями до референсной линии рукава на уровнях верхней части руки и локтя является геометрически интерпретируемым дескриптором согласованности формы рукава. Поэтому $|d_A - d_E|$ был предложен в качестве третьего критерия оценки формы рукава реглан, а его применимость была дополнительно проверена путем сравнительного анализа виртуальных и реальных образцов. На рисунке 2.14 показано сравнение формы рукава реглан в виртуальных и реальных образцах при условиях $|d_A - d_E| = 1$ см и $|d_A - d_E| = 0$. Передний и локтевой сгибы, а также средняя линия рукава отмечены красными линиями, чтобы наглядно показать изменения формы рукава.

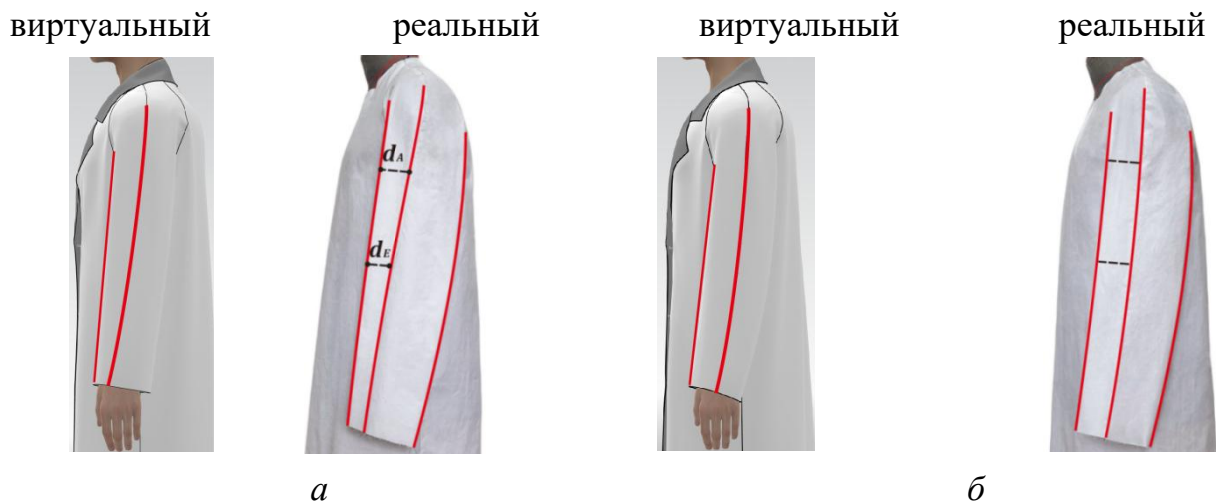


Рисунок 2.14 - Сравнение формы рукава реглан в виртуальных и реальных образцах при различных условиях $|d_A - d_E|$: а- $|d_A - d_E| = 1$ см; б- $|d_A - d_E| = 0$.

Как показано на рисунке 2.14, при $|d_A - d_E| = 1$ см виртуальные и физические рукава имеют заметное нарушение формы и несогласованность переднего сгиба и средней линии рукава. При $|d_A - d_E| = 0$ рукав имеет более сбалансированную конфигурацию, более плавные линии рукава и лучшую геометрическую согласованность в верхней части руки и области локтя. Эти результаты показывают, что меньшее значение $|d_A - d_E|$ связано с большей согласованностью между изгибом рукава и наклоном вперед в области верхней части руки и локтя, что обеспечивает более стабильный общий силуэт рукава.

Поэтому диапазон $|d_A - d_E| \in [0, 0.7]$ см был принят в качестве третьего критерия оценки формы рукава реглан.

В окончательной системе C_C была сохранена та же логика измерения, однако обозначения были упрощены для последующего применения в критериях оценки. Расстояние от референсной линии рукава до контура рукава на уровне верхней части руки, ранее обозначенное как d_A , было принято как a ; аналогичное расстояние на уровне локтя, ранее обозначенное как d_E , было принято как b . Следовательно, параметр согласованности линии рукава $|d_A - d_E|$ в окончательной системе C_C был записан как $|a - b|$, где $a = d_A$ и $b = d_E$. На основе трех вышеуказанных этапов критерии формы рукава для системы «аватар–пальто» были установлены следующим образом: $FC \in [1, 4.3]$ см, $EC \in [0, 0.3]$ см, $|a - b| \in [0, 0.7]$ см.

Однако пальто реглан является интегрированной системой «стан + рукав». Поэтому на основе критериев формы рукава реглан и критериев баланса стана, установленных в предыдущем разделе, были дополнительно сформулированы окончательные критерии оценки формы пальто. На основе анализа 2D-фотографий и результатов 3D-виртуальной примерки складки были введены как ключевой параметр формы, поскольку они непосредственно отражают локальную деформацию, вызванную дисбалансом или несоответствием между станом и рукавом. Расстояние на виде спереди от руки до бокового контура (FD) было введено для более полного описания соотношения между низом рукава и кистью. На рисунке 2.15 показаны все параметры формы, использованные для установления критериев оценки формы пальто, относящиеся к балансам стана и рукава.



Рисунок 2.15 - Параметры формы, использованные для установления критериев оценки формы пальто с рукавом реглан (C_C)

К этим параметрам относятся расстояние на виде спереди от бокового контура рукава до тыльной стороны кисти (FD), расстояние на профильном виде от переднего сгиба до передней стороны руки (FC), параметр согласованности линии рукава $|a-b|$, а также наличие складок в определенных зонах передней и задней частей рукава, обозначенных как $Fold1$, $Fold2$, $Fold3$ и $Fold4$. Параметр сописывает складки на поверхности стана, $Folds$ относится к складкам на поверхности рукава в четырех заданных зонах рукава.

Соответственно, окончательные критерии оценки формы пальто с рукавом реглан (C_C) объединили балансы стана и рукава в единую систему оценки:

$$C_C = \{(d_F + d_B)/2; (\angle F + \angle B)/2; c; FD; FC; |a-b|; Folds\} \quad (2.2)$$

Таким образом, C_C является интегрированной оценкой полной системы пальто реглан.

В таблице 2.10 приведены определения, критерии оценки и допустимые интервалы семи параметров, включенных в C_C , что обеспечивает окончательную количественную основу для оценки формы пальто с рукавом реглан.

Таблица 2.10 - Определения и допустимые интервалы параметров формы в критериях оценки формы пальто с рукавом реглан (C_C)

| № | Параметры | Определение | Критерий оценки | Интервал, единица |
|---|------------|---|---------------------------|-------------------|
| 1 | d_F | Вертикальное смещение линии низа передней части относительно горизонтальной линии | $(d_F + d_B)/2$ | [0, 2] cm |
| | d_B | Вертикальное смещение линии низа задней части относительно горизонтальной линии | | |
| 2 | $\angle F$ | Угол между передней средней линией и линией низа переда | $(\angle F + \angle B)/2$ | [88°, 92°] |
| | $\angle B$ | Угол между задней средней линией и линией низа спинки | | |
| 3 | c | Количество складок на стане | c | 0 |
| 4 | FD | Расстояние от тыльной стороны кисти до бокового контура рукава на виде спереди | FD | [0.7, 4.1] cm |

| | | | | |
|---|---------------|---|--------------|-------------|
| 5 | <i>FC</i> | Расстояние от передней стороны руки до переднего сгиба рукава в профильном виде | <i>FC</i> | [1, 4.3] cm |
| 6 | <i>a</i> | Расстояние до референсной линии рукава на уровне верхней части руки | <i>a-b</i> | [0, 0.7] cm |
| | <i>b</i> | Расстояние до референсной линии рукава на уровне локтя | | |
| 7 | <i>Fold 1</i> | Количество складок на передней части рукава | <i>Folds</i> | [0, 1] |
| | <i>Fold 2</i> | Количество складок на передне-боковой части рукава | | |
| | <i>Fold 3</i> | Количество складок на задне-боковой части рукава | | |
| | <i>Fold 4</i> | Количество складок на задней части рукава | | |

В совокупности эти критерии образуют окончательную количественную основу для оценки формы пальто с рукавом реглан. Они служат допустимыми порогами формы пальто с рукавом реглан при заданном силуэтном условии.

2.4.3. Группировка объемно-силуэтных форм пальто реглан

На основе ранее установленной структуры были разработаны количественные и воспроизводимые критерии для группировки форм пальто реглан.

Группировка объемно-силуэтных форм была установлена для пальто реглан из тканей, обычно используемых в осенне-зимний сезон. Отобранные фотографии представляли собой изделия верхней одежды, соответствующей диапазону осенне-зимних тканей. В рамках этого материала процедура группировки сосредоточилась на изменениях силуэта. Полученные интервалы S_V таким образом описывают изменения силуэта в пределах сопоставимого диапазона осенне-зимней одежды.

Установление параметров формы на основе структуры чертежей. Этот раздел описывает метод группировки объемно-силуэтных форм на основе реальных фотографий с использованием параметров контуров.

Всего было собрано 230 высококачественных фотографий с подиумов пальто с рукавом реглан с 2010 по 2025 годы. Из этого набора было оставлено 95 изображений для анализа. Отбор учитывал консистентность позы, четкость видимости передней части рукава, представительность изменений силуэта и соответствие категории одежды и диапазона материалов. Все отобранные образцы

относились к осенне-зимним пальто, их видимая толщина, общий объем и контуры оставались в пределах выбранного диапазона верхней одежды. Количество складок и их морфология на стане использовались как вспомогательные визуальные ориентиры при отборе для исключения образцов, которые существенно отклонялись от целевого диапазона осенне-зимней одежды. На основе наблюдаемых различий силуэта образцы были предварительно разделены на четыре группы: прилегающий, полуприлегающий, полусвободный и свободный силуэты.



Рисунок 2.16- Репрезентативные варианты объемно-силуэтных форм пальто с рукавом реглан: а-прилегающий; б- полуприлегающий; в- полусвободный; г- свободный

Чтобы соединить вышеуказанную визуальную группировку форм с чертежами, было установлено соответствие между контуром рукава на реальных фотографиях и его чертежом. Исходя из этого предположения, были введены четыре ключевых параметра формы d_{11} , d_{12} , d_{13} , and $\angle A_{SS}$ как основные дескрипторы, и им соответствующие параметры чертежей d_{11p} , d_{12p} , d_{13p} и $\angle A_{ssp}$.

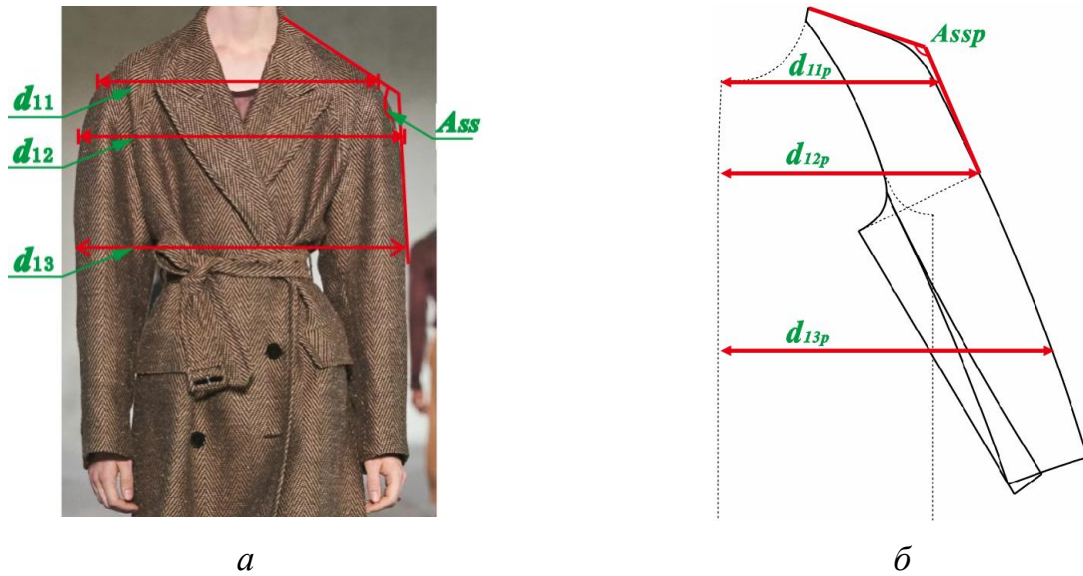


Рисунок 2.17- Схема измерения согласованных параметров формы и чертежей: а- параметры реальных фотографий; б- соответствующие параметры чертежей, измеренные на тех же уровнях

Таблица 2.11 определяет правила измерений.

Таблица 2.11- Определения и схемы измерений параметров формы и лекала

| Параметры | Параметры | Схема измерения |
|-----------|----------------|--|
| Форма | d_{11} | Горизонтальная ширина плеча, измеренная от самых внешних точек рукава |
| | d_{12} | Ширина рукава, измеренная на уровне проймы (линии верхней части руки) |
| | d_{13} | Ширина рукава, измеренная на уровне локтя |
| | $Ass, ^\circ$ | Угол между плечевой линией и центральной линией рукава |
| Чертеж | d_{11p} | Горизонтальное расстояние от плечевой точки до передней средней линии |
| | d_{12p} | Ширина рукава на уровне проймы, измеренная на пересечении плечевой линии с центральной линией рукава |
| | d_{13p} | Горизонтальное расстояние от центральной линии рукава до передней средней линии |
| | $Assp, ^\circ$ | Угол между плечевой линией и передней средней линией |

Были получены статистические данные 95 фотографий пальто, приведенные в Таблице А.5, ПРИЛОЖЕНИЕ А. Результаты показывают, что d_{12} и d_{13} имеют наибольшие коэффициенты вариации ($RD = 0.47$), затем идет d_{11} ($RD =$

0.40) и $\angle ASS$ (RD = 0.27). Это указывает на то, что основное изменение объема и силуэта пальто с рукавом реглан происходит в основном на уровнях проймы и локтя, а не на уровне плеча. Поэтому d_{12} и d_{13} были выбраны в качестве ключевых индикаторов формы для последующей группировки, поскольку они захватывают наибольшее изменение между образцами и описывают изменения ширины контуров осенне-зимних пальто.

Группировка объемно-силуэтных форм. Для определения количественных диапазонов ключевых дескрипторов d_{12} на уровне проймы и d_{13} на уровне локтя был разработан двухэтапный рабочий процесс, объединяющий данные о конструктивных прибавках и количественную оценку воздушных зазоров в поперечных сечениях. На рисунке 2.18 показана общая процедура определения интервалов E(CG) и проведения анализа поперечных сечений, чтобы выполнить группировку объемно-силуэтных форм пальто реглан.

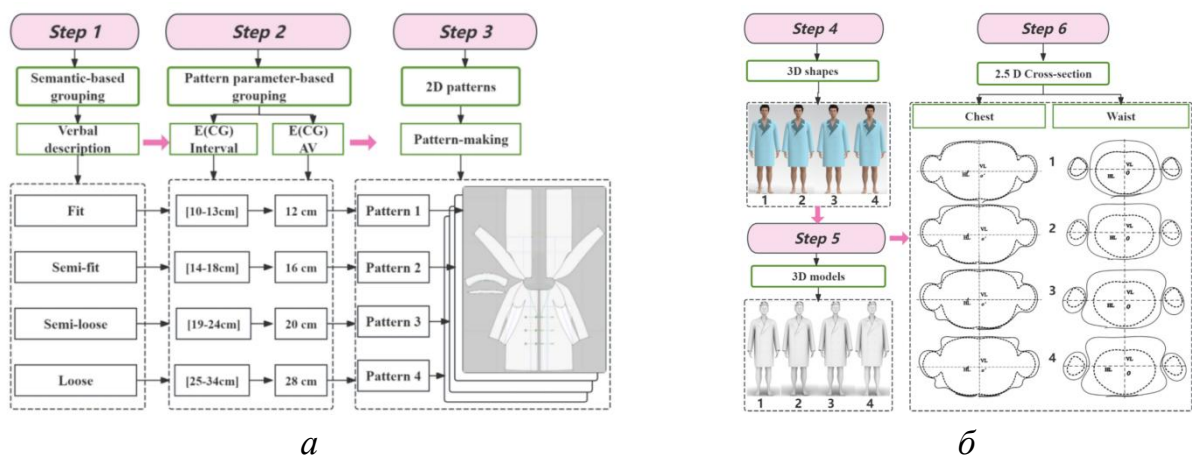


Рисунок 2.18- Рабочий процесс определения групп объемно-силуэтной формы пальто реглан: *а* – процедура определения интервалов прибавок E(CG); *б* – процедура 3D-виртуальной примерки и анализа поперечных сечений.

Как показано на рисунке 2.18, рабочий процесс состоит из двух последовательных этапов. На первом этапе (шаги 1–3) были выбраны семантические обозначения для групп в зависимости от конструктивной прибавки к обхвату груди на основании авторитетных источников по конструированию. На втором этапе (шаги 4–6) репрезентативные чертежи были преобразованы в 3D-виртуальные изделия для измерения воздушных зазоров в поперечных сечениях на уровнях проймы, чтобы определить граничные значения группировки.

Были проанализированы 100 чертежей пальто реглан. Полный набор данных представлен в таблице А.6 ПРИЛОЖЕНИЯ А. Таблица 2.12 показывает согласованные диапазоны прибавок E(CG) для четырех объемно-силуэтных групп.

Таблица 2.12 - Интервалы $E(CG)$ для различных групп объемно-силуэтной формы пальто реглан

| $E(CG)$, см | прилегающий силуэт | полуприлегающий силуэт | полусвободный силуэт | свободный силуэт |
|---|--------------------|------------------------|----------------------|------------------|
| Минимальное значение | 10 | 13 | 18 | 22 |
| Максимальное значение | 13 | 18 | 25 | 35 |
| Среднее значение | 12 | 16 | 20 | 28 |
| Начальный интервал по семантическим описаниям | [10, 13] | [12, 18] | [18, 25] | [22, 35] |
| Итоговый интервал | [10, 13] | [14, 18] | [19, 25] | [26, 35] |

Далее определили как четыре силуэтные категории могут быть выражены через измеряемые ширины силуэтов на уровнях проймы и локтя. Файлы чертежей в формате *.dxf*, соответствующие четырем силуэтным контурам, были импортированы в Style3D (шаг 4). 3D-виртуальная примерка выполняли на одном и том же аватаре, а результаты сохранены в формате *.obj*. Затем эти файлы были импортированы в Rhinoceros 7.0 для извлечения и измерения поперечных сечений (шаги 5). Наконец, были извлечены поперечные сечения на уровнях AL и EL (шаг 6). На рисунке 2.19 показаны поперечные сечения AL и EL для четырех объемно-силуэтных групп.

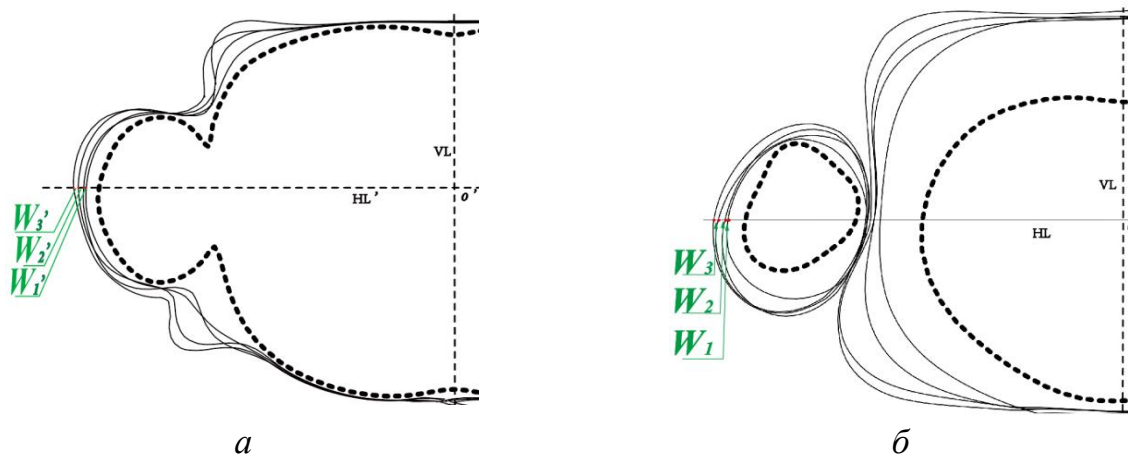


Рисунок 2.19- Поперечные сечения на уровнях AL и EL для четырех объемно-силуэтных форм: *a* – поперечное сечение AL; *б* – поперечное сечение EL. Пунктирные кривые обозначают контур аватара, а сплошные кривые обозначают внешние контуры изделия, соответствующие $E(CG)=12, 16, 20$ и 28 см, от внутреннего к внешнему.

Как показано на рисунке 2.19, в сечении AL линии VL и HL использовали как вертикальная и горизонтальная опорные линии, а точку их пересечения

Использовали как начало совмещения. В сечении EL линии VL и HL' использовали как соответствующие опорные линии, а точка их пересечения O' использовали как начало совмещения. Контур аватара и четыре внешних контура пальто, соответствующие прибавкам E(CG)=12, 16, 20 и 28 см, были совмещены в единой системе координат. Промежуток между соседними контурами использовали как воздушный зазор между соседними объемно-силуэтными группами. В сечении AL эти приращения были обозначены как W_1' , W_2' и W_3' ; в сечении EL они были обозначены как W_1 , W_2 и W_3 .

Расстояние между соседними контурами на уровнях AL и EL фиксировали как приращения воздушного зазора по полной ширине ΔW_i^{AL} и ΔW_i^{EL} , где $i=1,2,3$ соответствует переходам прилегающий \rightarrow полуприлегающий, полуприлегающий \rightarrow полусвободный и полусвободный \rightarrow свободный соответственно. Таблица 2.13 показывает полученные приращения. Значения ΔW_i были извлечены из наложенных поперечных сечений как приращения воздушного зазора по полной ширине.

Таблица 2.13- Приращения воздушного зазора между соседними объемно-силуэтными группами (ΔW_i , см)

| Сечение | ΔW_i^{AL} | E(AL) | ΔW_i^{EL} | E(EL) |
|---|-------------------|-------|-------------------|-------|
| прилегающий \rightarrow полуприлегающий | W_1' | 0.8 | W_1 | 1.2 |
| полуприлегающий \rightarrow полусвободный | W_2' | 1.9 | W_2 | 2.5 |
| полусвободный \rightarrow свободный | W_3' | 1.6 | W_3 | 1.6 |

Для уменьшения визуальной неоднозначности восприятия силуэта в границы группировки был включен допуск зрительного восприятия по полной ширине, равный ± 1.5 см, что соответствует ± 0.75 см на каждую сторону, в соответствии с установленными порогами визуального различия [24]. Следовательно, количественные критерии группировки для параметров формы d_{12} и d_{13} определены следующим образом:

$$Interval = d_{min} + \sum_{i=1}^k \Delta W_i \pm 1.5, k=1,2,3, d \in \{d_{12}, d_{13}\} \quad (2.3)$$

где d_{min} - минимальное значение, полученное из статистики реальных фотографий, ΔW_i - приращение воздушного зазора по полной ширине между соседними объемно-силуэтными группами.

Таблица 2.14 показывает критерии группировки (C_V) для четырех объемно-силуэтных категорий в терминах сохраненных ключевых параметров формы d_{12} и d_{13} на линиях проймы и локтя.

Таблица 2.14- Количественные критерии группировки (C_V) для объемно-силуэтной формы пальто с рукавом реглан (см)

| Основагруппировки | Параметр формы | прилегающий | полуприлегающий | полусвободный | свободный |
|-------------------|----------------|-------------|-----------------|---------------|-------------|
| Интервал, см | d_{12} | 44.8...46.8 | 46.9...52 | 52.1...56.7 | 56.8...70 |
| | d_{13} | 46.8...50.8 | 50.9...57.4 | 57.5...62.2 | 62.3...73.4 |

Как показано в таблице 2.14, итоговые критерии группировки C_V определяют количественные интервалы двух сохраненных ключевых параметров формы, d_{12} и d_{13} , для четырех категорий объемно-силуэтной формы пальто с рукавом реглан. Эти интервалы обеспечивают воспроизводимую основу для различения силуэтов в единых условиях измерения. Соответственно, критерии C_V расширяют ранее установленную систему оценки посадки и формы от оценки одного силуэта к систематической классификации нескольких объемно-силуэтных категорий. Таблица 2.14 определяет интервалы C_V для осенне-зимних пальто с рукавом реглан в пределах диапазона материалов, представленного фотоданными.

2.4.4. Стандартизированный мультимодальный протокол ИИ-генерации для системы «фигура + пальто»

На основе системы проекционных параметров (раздел 2.3) и критериев оценки (разделы 2.4.1–2.4.3) был разработан стандартизированный мультимодальный протокол ИИ-генерации системы «фигура + пальто». Цель данного протокола состояла в том, чтобы обеспечить управляемость, сопоставимость и измеримость ИИ-сгенерированных изображений в единых условиях. Данный протокол связывает ранее определенные проекционные параметры и критерии оценки с последующими экспериментами по генерации АІВ и АІС путем стандартизации текстовых, числовых и визуальных входных данных, используемых при ИИ-генерации.

Таблица 2.15 показывает стандартизированную схему проектирования мультимодального промпта.

Таблица 2.15- Стандартизированная схема проектирования мультимодального опта для генерации изображений фигур и пальто

| Аспект описания | Роль в генерации, ориентированной на измерение | Типичные элементы (примеры) |
|--|--|--|
| Признаки тела (семантические и проекционные ограничения) | Предоставляют антропометрические дескрипторы и геометрические признаки, полученные из проекционных параметров, для стабилизации пропорций тела и реконструкции силуэта | Гендер; возрастной диапазон; дескриптор фигурасложения; рост; длины, обхваты, ширины и углы; пропорциональные соотношения на основе антропометрических ориентиров |
| Контроль позы и вида | Фиксирует позу и вид камеры для обеспечения сопоставимости между образцами и стабильного извлечения проекционных параметров | Стандартная антропометрическая поза стоя; постоянное положение рук; вид спереди/в профиль/сзади, при необходимости; кадрирование всего тела |
| Детали одежды (структурная семантика изделия) | Ограничивают категорию изделия и структурную конфигурацию, чтобы уменьшить неоднозначность дизайна и стабилизировать признаки взаимодействия тела и одежды. | Тип изделия (пальто реглан); уровень прилегания; цвет; воротник; линия низа; карман; спецификация швов/застежки, включая однобортную или двубортную конструкцию, пуговицы или молнию |
| Характеристики ткани (визуальные признаки материала) | Направляют визуально правдоподобное отображение драпировки и реакции поверхности, поддерживая интерпретацию посадки/формы и избегая чрезмерных артефактов | Матовая/глянцевая; жесткая/мягкая; толстая/тонкая; эластичная/драпирующаяся; признаки текстуры/переплетения; контролируемая склонность к образованию складок. |
| Ограничения освещения | Минимизируют искажения контура, вызванные тенями, и улучшают видимость контуров тела/одежды для измерения | Мягкое равномерное освещение; контролируемое направление; постоянная интенсивность; низкий контраст теней; избегание резких бликов. |

| | | |
|--|--|--|
| Ограниченияфона | Устраняют отвлекающие элементы и повышают контраст для облегчения последующего анализа силуэта/проекций. | Однотонный студийный фон; нейтральный цвет; без реквизита; без дополнительных людей; без сложной среды. |
| Требования к реалистичности и качеству | Обеспечивают фотореалистичные выходные изображения, пригодные для оценки, и уменьшают генерационный шум, который мог бы исказить проекционные измерения. | Естественная текстура кожи; анатомически правдоподобная поверхность тела; согласованный контакт одежды с фигурам; физически правдоподобные складки; избегание перекрытия, экстремальной перспективы и визуальных артефактов. |

В рамках общей структуры были определены два варианта входных данных. В методе А использовали текстовые описания вместе со значениями проекций, в методе В к ним дополнительно добавляли 3D-рендерированные референсные изображения. В обоих методах ограничения позы, вида, освещения и фона оставались неизменными, чтобы сгенерированные результаты были непосредственно сопоставимы при последующей оценке структуры и посадки. Стандартизированный протокол состоял из четырех основных этапов: подготовки входных данных тела и пальто, написание мультимодального промпта, ИИ-генерация изображений и измерения сгенерированных изображений. На этой основе протокол был сначала реализован для AIB, а затем расширен на генерацию AI-системы «фигура + пальто».

Структурированные промпты для генерации AIB. Процесс генерации фигуры был реализован в Grok 3. Процедура включала: (1) экспорт референсных изображений 3D-виртуальной фигуры (VB) на видах спереди и сбоку из Style3D в формате .png; (2) генерацию изображения фигуры на виде спереди; (3) генерацию изображения фигуры на виде сбоку. В обоих методах сохраняли одни и те же дескрипторы, ограничения проекционных параметров и условия визуального контроля. Таблица 2.16 обобщает структурированную схему промпта для генерации AIB.

Таблица 2.16- Структурированная схема промпта для генерации АІВ

| Пункт | Содержание |
|-------------------------|--|
| Роль | АІ-управляемая мультимодальная система генерации изображений тела |
| Цель | Генерация реалистичных изображений АІ-тела типичного мужского тела на видах спереди и сбоку для последующей структурной оценки на основе проекций. |
| Основной приоритет | Точность пропорций тела, стабильность позы и реконструкция силуэта при генерации, ориентированной на измерение, при сохранении одинаковых условий позы, вида, освещения и фона для всех образцов. |
| Настройка метода | Метод А: текстовые описания + значения 2.5D-проекций. Метод В: текстовые описания + значения 2.5D-проекций + 3D-рендерированные референсные изображения виртуального тела . |
| Входные параметры | Дескрипторы тела: Входные данные, связанные с фигурам, включали пол, тип фигурасложения, рост, обхват груди, талию, а также набор полученных из проекций параметров ширины, длины и углов. |
| | Проекционные параметры вида спереди: Для вида спереди они включали рост 182 см, ширину груди 33,3 см, ширину талии 29,3 см, ширину бедер 35,3 см, ширину верхней части руки 9,1 см, ширину локтя 8,0 см, ширину запястья 6,0 см, ширину плеч 44,6 см, наклон плеча 22,8°, длину руки 60 см, внутреннюю длину ноги 84,5 см, расстояние от плечевой точки до стопы 149,2 см, расстояние от уровня груди до стопы 131,6 см, расстояние от уровня талии до стопы 114,5 см и расстояние от уровня бедер до стопы 90,3 см. |
| | Проекционные параметры вида сбоку: Для вида сбоку они включали рост 182 см, обхват груди 100 см, талию 84 см, ширину груди 26,7 см, ширину талии 22,7 см, ширину бедер 26,2 см, ширину верхней части руки 11,4 см, ширину локтя 8,9 см, ширину запястья 6,5 см, угол локтя 165,8°, расстояние от передней точки горловины до стопы 150,3 см и расстояние от задней точки горловины до стопы 157,9 см. |
| Структурные ограничения | Сгенерированное фигура должно представлять собой нормальную и пропорциональную мужскую фигуру, стоящую в базовой антропометрической позе. Вид спереди должен быть фронтальным, а вид сбоку - строго боковым. Все фигура, включая стопы, должно быть видимым. Фигура должна быть босой. Положениерукдолжнооставатьсяестественным и соответствоватьантропометрическомунаблюдению. |

| | |
|--------------------|--|
| Политикастилизации | Реалистичный внешний вид мужского тела с черными волосами; облегающие светло-серые леггинсы для выявления контуров тела без чрезмерной открытости; реалистичная текстура кожи, анатомически правдоподобная поверхность тела и правдоподобное взаимодействие ткани с фигурам; мягкое равномерное рассеянное освещение; чистый черный фон для сильного контрастирования контура. |
| Негативный промпт | Избегать наклона тела, искаженных конечностей, неправильных пропорций тела, перекрытых контуров тела, экстремальной перспективы, несогласованного угла вида и визуальных артефактов. |
| Выходные данные | Стандартизированные AI-изображения тела в видах спереди и сбоку при контролируемых визуальных условиях, пригодные для последующего извлечения проекций и сравнения с реальным фигурам и 3D-виртуальными референсами тела. |

Как показано в таблице 2.16, промпт был организован как протокол генерации, ориентированный на измерение, включающий цель генерации, входные параметры, структурные ограничения, элементы стилистического контроля, негативные ограничения и требования к выходным данным. При такой схеме метод А проверял, достаточно ли только текстовых и проекционных входных данных для реконструкции формы и позы фигуры, тогда как метод В проверял, может ли добавление 3D-рендерированных референсных изображений VB дополнительно повысить точность.

Структурированные промпты для AI-системы «фигура + пальто». После установления протокола генерации тела мультимодальная стратегия промптинга была далее расширена на генерацию AI-системы «фигура + пальто». На данном этапе цель заключалась в обеспечении геометрической согласованности сгенерированного пальто со стандартизированным референсом фигуры и с целевыми объемно-силуэтными условиями, определенными ранее. Поскольку генерация АИС требовала стабильного контроля пространственного соотношения «одежда–фигура» и структуры пальто, на данном этапе был использован метод В. Таблица 2.17 обобщает структурированную схему промпта для генерации АИС.

Таблица 2.17- Структурированная схема промпта для генерации АИС в AI-системе «фигура + пальто»

| Пункт | Содержание |
|-----------------------------|--|
| Роль | AI-управляемая мультимодальная система генерации изображений для конфигурации «фигура + пальто с рукавом реглан» |
| Цель | Генерация стандартизированных изображений AI-сгенерированное пальто в видах спереди и сбоку, изображающих мужскую фигуру в пальто с рукавом реглан, для последующей структурной оценки и оценки посадки на основе проекций. |
| Основной приоритет | Сохранение структурной конфигурации пальто с рукавом реглан и соотношения «одежда–фигура» при генерации, ориентированной на измерение, с сохранением одинаковых условий позы, вида, освещения и фона для сопоставимости между образцами. |
| Настройк а метода | Метод В: текстовые описания изделия + значения 2.5D-проекций + 3D-рендерированные референсные изображения «фигура + пальто». |
| Визуальный референсный вход | Стандартизированное виртуальное фигура в пальто с рукавом реглан, созданное в Style3D, использовалось в качестве 3D-рендерированного визуального референса. |
| Входные параметры | Дескрипторы изделия: Входные данные, связанные с изделием, включали тип изделия (классическое пальто с рукавом реглан), уровень прилегания (slimfit), способ застежки (двубортное изделие, полностью застегнутое на пуговицы), цвет ткани (светло-серый), длину изделия, длину рукава и набор структурных параметров, полученных из проекций. |
| | Проекционные параметры вида спереди: Для вида спереди они включали ширину плеч 48,8 см, ширину груди 37,1 см, ширину талии 37,0 см, ширину бедер 37,6 см, ширину рукава 48,8 см, ширину локтя 21,3 см, ширину запястья 18,4 см, проекционный угол лопаточной области 42,9°, угол между линией плеча и средней линией рукава 125,3°, длину рукава 62 см и длину пальто приблизительно 100 см. |
| | Проекционные параметры вида сбоку: Для вида сбоку они включали ширину плеч 48,8 см, ширину груди 33,9 см, ширину талии 35,0 см, ширину бедер 35,4 см, ширину рукава 18,9 см, ширину локтя 17,9 см, ширину запястья 15,7 см, длину рукава 62 см и длину пальто приблизительно 100 см. |
| Структурные ограничения | Сгенерированное пальто должно быть классическим пальто с рукавом реглан, имеющим соединение рукава с линией горловины. Мужская фигура должна иметь черные волосы, рост 182 см, нормальное фигурасложение, быть босой и стоять в базовой |

| | |
|---------------------|---|
| | антропометрической позе с руками, естественно опущенными вдоль тела, и стопами, расположенными близко друг к другу. Вид спереди должен быть фронтальным, а вид сбоку - строго боковым. Все фигура должно быть видимым. Пальто должно оставаться застегнутым, все пуговицы двубортной застежки должны быть застегнуты, а манжеты должны располагаться приблизительно на уровне запястья. |
| Политика стилизации | Реалистичный внешний вид изделия из светло-серой ткани; четкое взаимодействие одежды и тела; визуально стабильный силуэт slimfit; черная стена в качестве фона; реализм, ориентированный на оценку, а не декоративная стилизация. Общие визуальные ограничения, унаследованные от единой мультимодальной схемы, включали мягкое равномерное освещение, снижение влияния теней, однотонный фон и фотореалистичное качество вывода, пригодное для анализа силуэта и проекций. |
| Негативный промпт | Избегание видимых или чрезмерных складок на рукаве, перекрытия контуров, экстремальной перспективы, несогласованного угла вида и визуальных артефактов. |
| Выходные данные | Стандартизированные изображения AI-сгенерированное пальто в видах спереди и сбоку при контролируемых визуальных условиях, пригодные для последующего извлечения проекций и сравнения с реальными и 3D-моделированными референсами пальто. |

Как показано в таблице 2.17, промпт АИС сохранил ту же ориентированную на измерение организацию, что и промпт АИВ, но дополнительно ввел специфический для изделия контроль структуры пальто с рукавом реглан, соотношения «одежда–фигура», характеристик рукава и параметров, связанных с силуэтом. При общих ограничениях позы, вида, освещения и фона сгенерированные изображения АИС могли быть непосредственно сопоставлены с изображениями реальных пальто и виртуальных пальто в одинаковых условиях измерения на основе проекций. Благодаря объединению текстовых описаний пальто, значений проекционных параметров и 3D-рендерированных референсных изображений в рамках единого протокола, состав промпта улучшил контроль контура пальто, соотношения «рукав–рука» и воспроизведения объемно-силуэтной формы.

В целом стандартизированный мультимодальный протокол промптинга, установленный в данном подразделе, обеспечил контролируемый и воспроизводимый путь генерации изображений АИВ и АИС при единых геометрических, визуальных и измерительных ограничениях.

Заключение по главе 2

1. Усовершенствована схема измерений верхней части торса, позволяющая точно идентифицировать и реконструировать ключевые анатомические точки в соответствии с российскими антропометрическими принципами и принципами размерной типологии одежды, включая плечевые точки и положение бокового шва. На основе морфологии тела были оптимизированы репрезентативные китайские базовые прототипы, что обеспечило надежную основу стана для построения лекал пальто с рукавом реглан.

2. Разработана иерархическая количественная система оценки для интегрированной системы «стан–рукав», включающая три уровня критериев: критерии оценки баланса посадки стана C_B , критерии оценки формы пальто с рукавом реглан C_C и критерии группировки объемно-силуэтной формы C_V . Система позволяет оценивать адаптируемость конструкций пальто с рукавом реглан к различным формам фигур и силуэтным категориям, обеспечивая геометрический баланс, соответствие между рукавом и рукой, а также стабильность формы между станом и рукавом.

3. Сформирован структурированный набор проекционных параметров системы «фигура + пальто». Этот набор данных служит связующим звеном между лекалами, 3D-формами и ИИ-сгенерированными изображениями, обеспечивая единую базу данных.

4. Сформулирована мультимодальная стратегия промптинга для ИИ-генерации систем «фигура + пальто». Данная стратегия определяет структуру входных данных на основе текстовых описаний, проекционных значений и 3D-рендерированных референсных изображений. Совместно с критериями C_B , C_C и C_V данный протокол поддерживает последующую оценку точности ИИ-генерации, согласованности посадки и обобщения объемно-силуэтной формы.

ГЛАВА 3. РАЗРАБОТКА И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ПАЛЬТО РЕГЛАН

На основе данной измеряемой оценочной системы в третьей главе разработан инженерно-ориентированный рабочий процесс проектирования и совершенствования лекал пальто. В частности, в разделе 3.1 выбран мужской базовый прототип посредством виртуальных примерок для нескольких категорий телосложения. Затем выбранный прототип был проверен для типов телосложения Y, A, B и C с использованием параметров наклона плеча и положения бокового шва, специфичных для каждого типа телосложения. В разделе 3.2 сравнены альтернативные прототипы рукава реглан, с целью определения конструктивного решения рукава реглан, которое лучше соответствует морфологии руки. В разделе 3.3 исследованы чертежи пальто реглан, определены ключевые параметры и соответствующие им параметры формы. В результате данной процедуры конструктивные изменения преобразуются в количественные правила прогнозирования и оптимизации формы пальто.

3.1. Базовые прототипы стана

3.1.1. Выбор базовых прототипов стана

Для последующей разработки конструкции рукава реглан были оценены три стандартных базовых прототипа (P1, P2 и P3) посредством виртуальных примерок на 20 мужских аватарах, представляющих четыре формы телосложения. В результате было получено 60 пальто: 3 прототипа \times 5 значений обхвата груди \times 4 типа телосложения. Все станы пальто были смоделированы в Style3D с использованием одинаковой тканой ткани (F1) и единых физических параметров. Каждый образец оценивали по четырём критериям посадки стана C_B : a_F , b_B , c и $(d_F + d_B)/2$ из раздела 2.4.1, как «хорошая посадка» или «неудовлетворительная посадка» в соответствии с заранее установленными пороговыми значениями.

Рисунок 3.1 показывает наложенные боковые контуры 20 виртуальных станов пальто для прототипов P1-P3 соответственно.

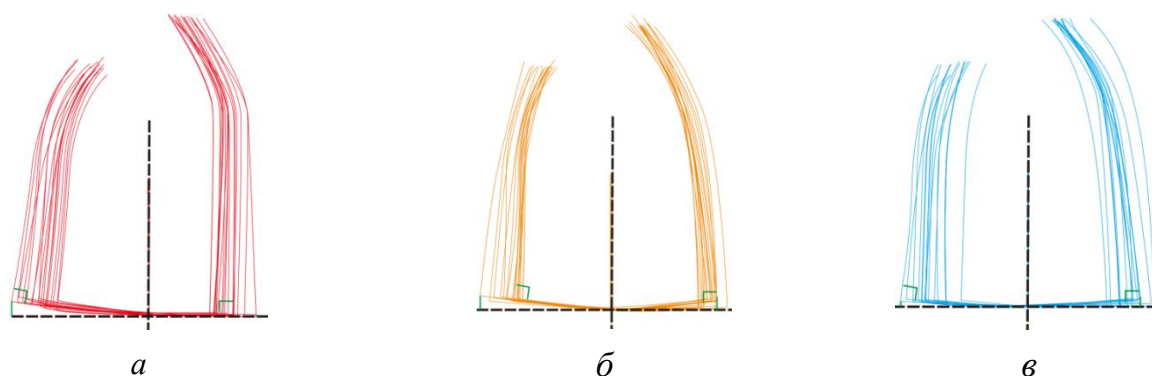


Рисунок 3.1 - Совмещенные боковые контуры 20 виртуальных станов пальто для базовых прототипов: а - P1, б - P2, в - P3

Как показано на рисунке 3.1, контуры пальто были выровнены по боковому шву как общей опорной линии. Таблица 3.1 показывает суммарное количество образцов, удовлетворивших пороговому значению по каждому параметру C_B . Подробные распределения параметров C_B представлены в таблицах А7–А10 ПРИЛОЖЕНИЯ А.

Таблица 3.1 - Количество станов, удовлетворяющих пороговым значениям параметров C_B

| Параметры | Количество станов с хорошей посадкой | | |
|-------------------------------|--------------------------------------|------------|----------|
| | P1 | P2 | P3 |
| a_F | 10 | 3 | 6 |
| b_F | 16 | 12 | 9 |
| c | 10 | 4 | 3 |
| $(d_F + d_B)/2$ | 11 | 7 | 10 |
| Суммарное количество проходов | 47 (58.5%) | 26 (32.5%) | 28 (35%) |

Примечание: Значения представляют количество образцов, удовлетворивших пороговому значению по каждому параметру C_B . Для каждого прототипа максимальное суммарное количество составляло 80, что рассчитывалось как 20 виртуальных примерок \times 4 параметра C_B . Проценты были рассчитаны относительно этих 80 оценок на уровне параметров.

Как показано в таблице 3.1, P1 достиг наибольшей суммарной доли соответствия критериям C_B , равной 58.5%, и превзошёл P2 и P3. Поэтому P1 был выбран в качестве базового прототипа для последующей разработки лекал пальто. Однако оставшиеся случаи несоответствия критериям показали, что прототип P1 всё ещё не обеспечивал оптимальную посадку на всех выбранных типах фигур, что подтвердило необходимость дальнейшей модификации.

3.1.2. Совершенствование базового прототипа стана

Недостатки P1 в основном связаны с двумя структурными областями, которые напрямую влияют на баланс стана: конфигурация плечевого пояса и положение бокового шва. Поэтому последующие модификации сосредоточились на измерениях FSS, BSS и соотношения BWG:FWG для четырех типов телосложения.

Прототип P1 был модифицирован через многоэтапный процесс, включающий 3D моделирование тела, антропометрические измерения и корректировку 2D шаблонов. Во-первых, 20 стандартизированных мужских аватаров были созданы в Style3D в соответствии с китайской системой размеров. Во-вторых, были определены ключевые анатомические ориентиры, включая FSP, BSP, SNP и соотношение BWG:FWG. На основе этих измерений прототип P1 был переработан в RichreaseV8.0 путем корректировки наклона плеч и положения бокового шва на плоском шаблоне. Наконец, была выполнена виртуальная примерка для оценки модифицированного стана с использованием критериев посадки C_B .

Область плеч была выбрана для модификации прототипа, так как она напрямую влияет на баланс стана, комфорт и общую посадку. В исходном прототипе P1 общий наклон плечевых линий был установлен на 40° (перед 18° и спинка 22°). Однако эта фиксированная конфигурация не точно отражает морфологию плеч многих современных китайских мужских типов телосложения, что видно из рис.3.1.

Для создания специфических наклонов плечевого пояса была разработана графоаналитическая методика измерений. Этот метод позволил количественно локализовать FSP, BSP и SNP и рассчитать углы наклона плечевых срезов. Рисунок 3.2 показывает схему нахождения положения плечевых линий.

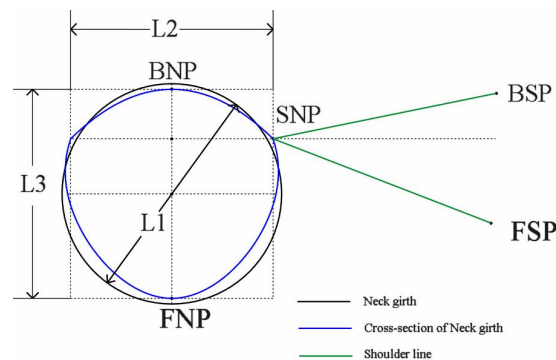


Рисунок 3.2 - Построение сечения шеи и локализация FNP, BNP и SNP (L1–L3)

Как показано на рисунке 3.2, сечение шеи моделируется как эллипс для отражения анатомических особенностей шеи. Учитывая обхват шеи (NG), диаметр $L1$ вычислен как $L1 = NG / \pi$. Для учета передне-заднего удлинения и бокового сжатия, наблюдаемого на 3D-аватарах, поперечный диаметр вычислен как $L2 = 0.95L1$, а передне-задний диаметр $L3 = 1.05L2$. Эта эллиптический модель разделена на четыре равные сектора, и SNP расположена в пропорции 1:3 вдоль линии шеи.

Были проведены количественные измерения в 15 ключевых точках тела. Пространственные позиции FSP и BSP были спроецированы на 2D-плоскость, что позволило геометрически количественно оценить их отношение к SNP. Рисунок 3.3 демонстрирует геометрический процесс локализации плечевых точек и вычисления FSS и BSS.

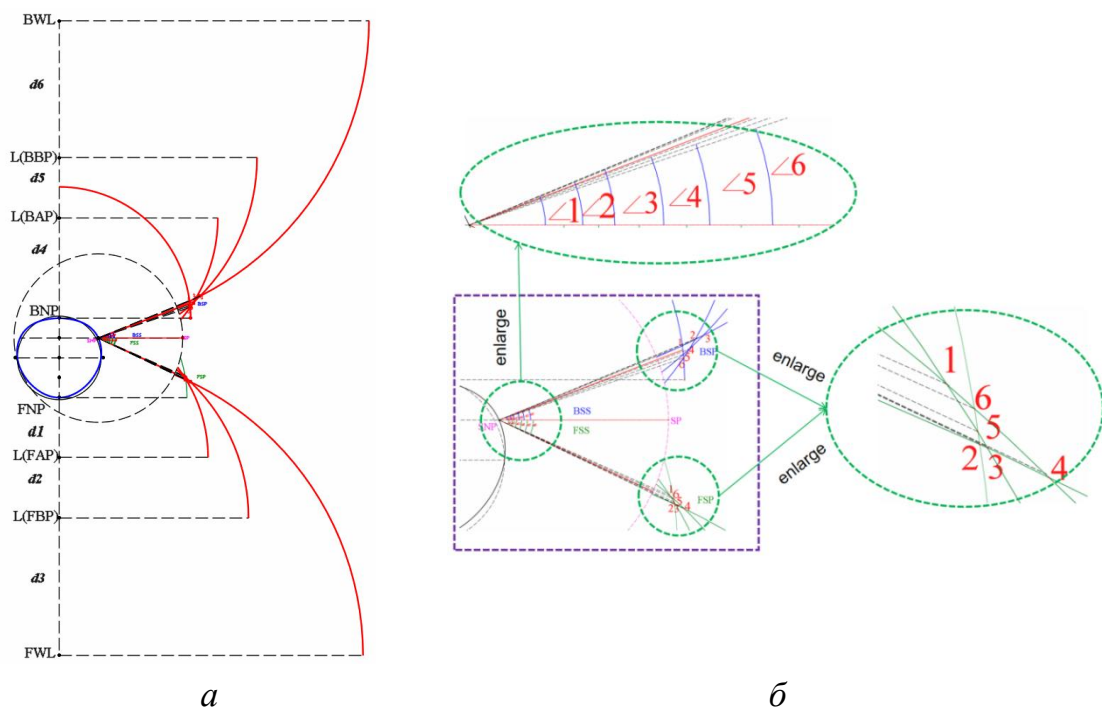


Рисунок 3.3 - Графоаналитическая схема для определения FSS и BSS: *а*- решения на основе пересечения радиусов; *б* - увеличенные координаты шести возможных точек пересечения (Точки 1–6), используемые для оценки наклона плечевых линий

На основе шести измеренных величин (③, ⑤, ⑦, ⑩, ⑫, ⑭) были определены позиции ориентиров L(BAP), L(FAP), L(BBP), L(FBP), L(BWL) и L(FWL) на передней и задней центральных линиях в 2D-плоскости. Также были вычислены расстояния от FNP, BNP, L(BAP), L(FAP), L(BBP), L(FBP), BWL и FWL до плечевой точки (SP) (рисунок 2.8а). Были построены круги с этими

расстояниями в качестве радиусов. Этот процесс дал шесть возможных точек (т. 1–6) для передней и шесть для задней стороны, что соответствует возможным 3D-местоположениям FSP и BSP.

После определения кандидатных плечевых точек был рассчитан угол наклона плечевых линий путем построения линий от SNP до т. 1–6 (рисунок 2.8б) для каждого аватара. Угол между каждой линией и горизонтальной референсной линией SNP–SP (пунктирная линия на рис. 2.7) был определен как угол плечевой линии. Окончательный угол наклона плеч для каждого из 20 аватаров был получен путем усреднения шести углов.

Для поддержания модификации прототипа для различных типов телосложения антропометрические измерения были сгруппированы по типам телосложения Y, A, B и C. Два критических геометрических параметра были определены как основные факторы, влияющие на посадку стана: (1) конфигурация плечевого наклона, количественно определяемая через BSS и FSS, и (2) боковая часть тела, определяемая через FWG и BWG, а также их соотношение BWG:FWG. Таблица 3.2 показывает средние значения этих параметров для четырех типов телосложения, полный набор данных представлен в таблице A.11, приложении A.

Таблица 3.2 - Типоспецифические антропометрические параметры, использованные для модификации стана

| Тип телосложения | Средние значения | | | | BWG:FWG (%) |
|------------------|------------------|-----------|------------|------------|-------------|
| | BSS, ° | FSS, ° | BWG, см | FWG, см | |
| Y | 21.3±1.8 | 25.0±1.2 | 17.5±1.8 | 19.5 ± 1.5 | 47.2: 52.8 |
| A | 22±1.2 | 25.5±0.6 | 18.4 ± 1.9 | 21.6 ± 1.3 | 46: 54 |
| B | 22.6±1.7 | 25.8±0.9 | 19.9 ± 1.8 | 23.1 ± 1.5 | 46.4: 53.6 |
| C | 22.9±1.5 | 26.1 ±0.7 | 20.9 ± 1.7 | 24.4 ± 2.3 | 46.2: 53.8 |

Как показано в таблице 3.2, комбинированный угол BSS+FSS колеблется от 46.3±2.2° для типа телосложения Y до 49.0±1.7° для типа телосложения C, что превышает фиксированный наклон плеч в прототипе P1 на 6.3°-9.0°, что составляет от 15.7% до 22.5%. Эти результаты свидетельствуют о том, что исходный прототип недооценивал конфигурацию плеч для современных китайских типов мужского телосложения. Поэтому параметры плечевой области P1 были скорректированы на основе средних значений BSS и FSS для четырёх типов

телосложения.

Другим важным фактором является положение боковой линии (бокового шва), которая делит торс на переднюю и заднюю части. Соотношение BWG:FWG варьируется в зависимости от различных категорий телосложения, что указывает на то, что первоначальное соотношение 1:1 для распределения окружности талии на переднюю и заднюю части в P1 не подходит для всех типов телосложения. Поэтому FWG и BWG были количественно определены для поддержания точного перераспределения бокового шва. Рисунок 3.4 показывает определение боковой линии тела и распределение окружности талии на FWG и BWG для разных типов телосложения.

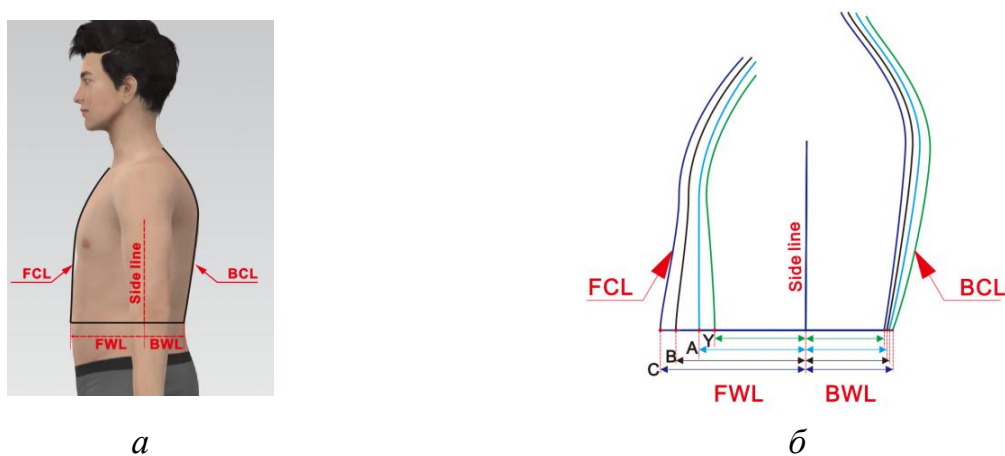


Рисунок 3.4 - Определение боковой линии тела и распределение окружности талии: а - боковая линия на аватаре; б - наложение контуров боковой линии по категориям телосложения (Y, A, B и C)

Как показано на рисунке 3.4, после выравнивания по боковой линии тела доля обхвата спереди FWL и сзади BWL зависят от типа телосложения, что указывает на неравномерное распределение окружности талии на переднюю и заднюю части. Как показано в таблице 3.2, соотношение BWG:FWG варьируется от 46.0:54.0 до 47.2:52.8 (таблица А.12, ПРИЛОЖЕНИЕ А), что отклоняется от исходного соотношения 1:1, использованного в прототипе P1. Основываясь на типоспецифичных правилах модификации, P1 был модифицирован отдельно для четырёх типов телосложения. Рисунок 3.5 показывает оригинальный прототип P1 и соответствующие корректировки линии плеч и бокового шва для каждого типа телосложения.

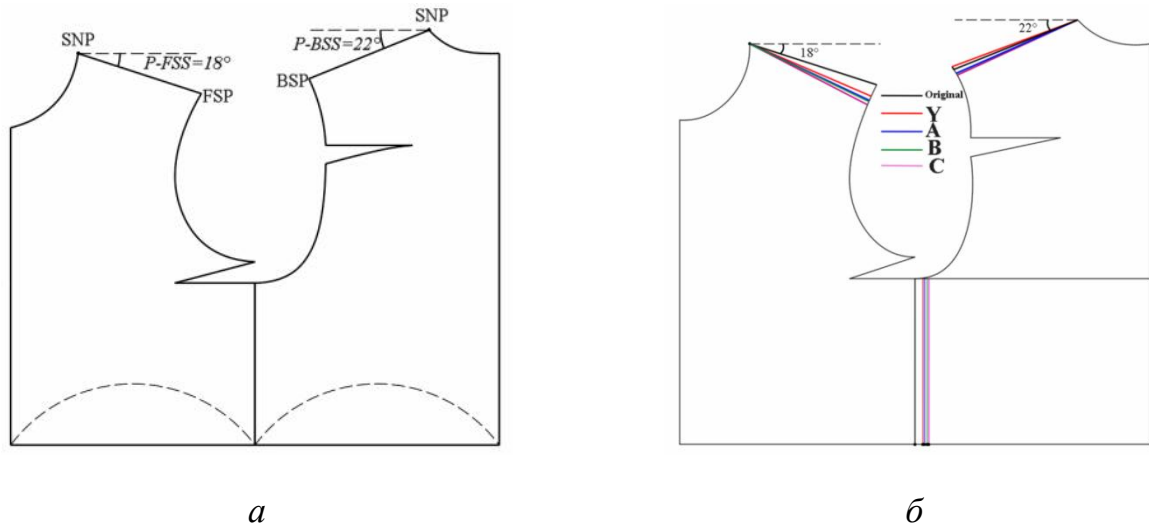


Рисунок 3.5 - Модификация прототипа P1: *а* - оригинальный прототип P1; *б* - корректировки линии плеч и бокового шва для типов телосложения Y, A, B и C

Для оценки эффекта предложенной модификации прототипа были выполнены виртуальные примерки на 20 аватарах. Рисунок 3.6 показывает боковые контуры стана до и после модификации для четырех типов телосложения.

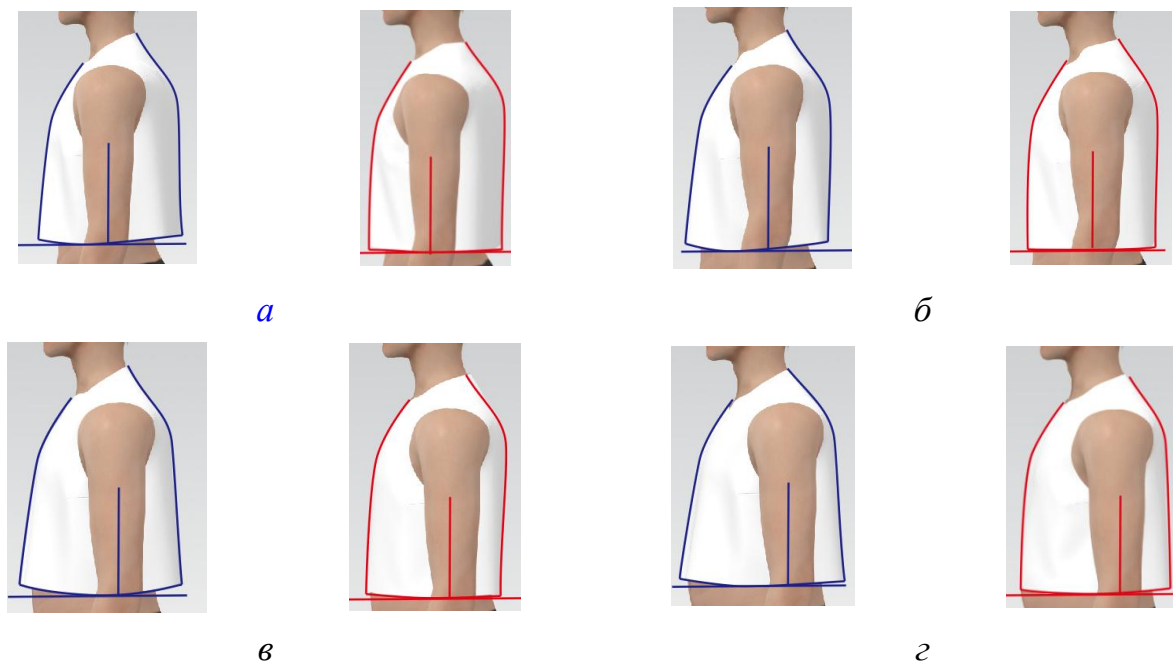


Рисунок 3.6 - Боковые силуэты до и после модификации прототипа стана для различных категорий телосложения: *а* - Y; *б* - A; *в* - B; *г* - C; синяя линия - прототип P1; красная линия -соответствующий модифицированный прототип.

Как показано на рисунке 3.6, по сравнению с P1, модифицированные прототипы значительно улучшили показатели посадки стана для всех четырех типов телосложения. Согласно измерениям (таблица А.13, ПРИЛОЖЕНИЕ А)

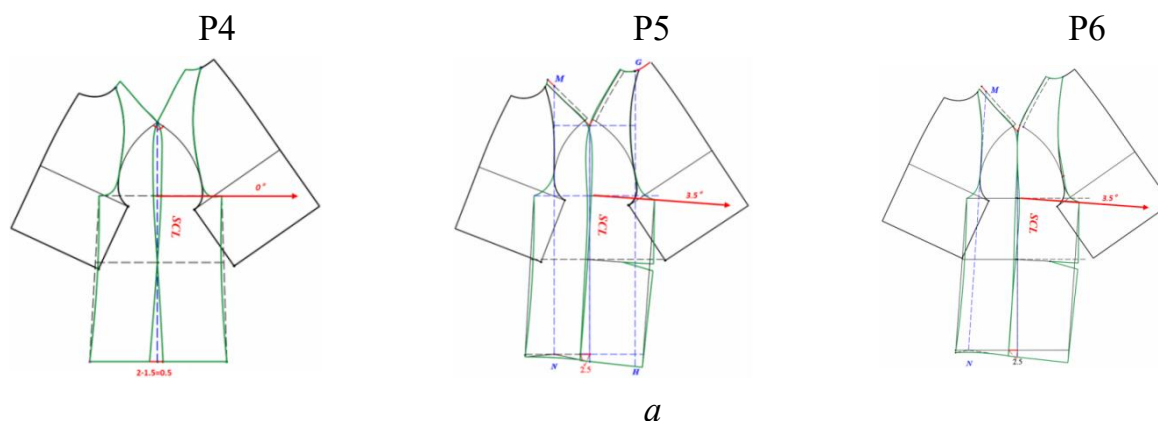
количество случаев прохождения параметров для параметров посадки СВ составило 19, 18, 20 и 19 соответственно, что соответствует 95%. По сравнению с исходным прототипом P1 (58.5%), модифицированные прототипы показали значительное улучшение в посадке стана, что подтверждает эффективность предложенной стратегии модификации.

3.2. Прототип рукава реглан

3.2.1. Сравнение прототипов рукава реглан

Сравнение двумерных лекал. В свободном опущенном положении мужская рука характеризуется наклоном вперед и сгибанием в локтевой области. Эти две особенности непосредственно влияют на пространственное соотношение между рукой и рукавом и, следовательно, должны быть отражены в проектировании лекала рукава. На основе данных морфологических характеристик были сравнены формы двумерных лекал трех двухшовных прототипов рукава реглан P4, P5 и P6.

Наклон руки вперед может быть представлен в двумерном чертеже посредством относительного расположения двух конструктивных опорных линий: средней линией рукава (SCL) и линией бокового шва рукава (SSL). Для обеспечения сопоставимости сравнения были применены два условия совмещения: совмещение по SCL и совмещение по SSL. Наклон вперед количественно оценивали по величине смещения вперед между SCL и SSL, тогда как сгибание в локтевой области количественно оценивали по углу наклона задней части рукава вперед, формируемому локтевой вытачкой. На рисунке 3.7 представлены результаты наложения лекал при двух условиях совмещения.



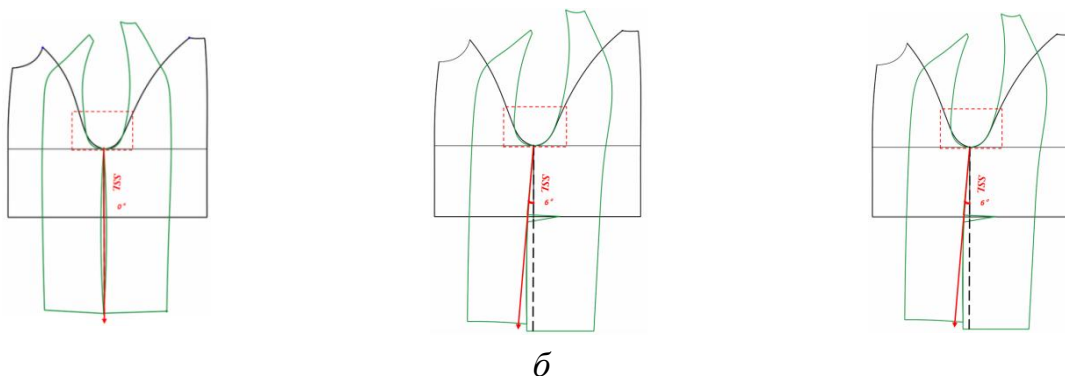


Рисунок 3.7 - Сравнение трех прототипов рукава реглан P4, P5 и P6 при совмещении: а - по SCL; б - по SSL

Как показано на рисунке 3.7,а, при совмещении по SCL смещение SCL и SSL составило: 0,5 см для P4, 2,5 см для P5 и 2,5 см для P6. При этом P5 и P6 за счет локтевой вытачки сформировали угол наклона задней части рукава вперед, равный $3,5^\circ$, тогда как у P4 этот показатель оставался равным 0° . Как показано на рисунке 3.7, б, при условии совмещения по SSL углы наклона SSL вперед составили 0° для P4, 6° для P5 и 6° для P6. Следовательно, P5 и P6 обеспечили более выраженное отображение наклона вперед и сгибания по сравнению с P4. Однако предпочтение было отдано P6 по сравнению с P5, поскольку данный прототип обеспечивал согласованное сопряжение обеих линий пройм (см. таблицу 2.18). По сравнению с углами руки $\angle 1 = 8,9^\circ \pm 1,5^\circ$ и $\angle 2 = 12,2^\circ \pm 1,4^\circ$, описанными в разделе 2.4.2, P6 показал лучшие результаты среди трех прототипов рукава реглан.

Таблица 3.3 - Сравнение конструктивных параметров двумерного лекала

| Параметры формы двумерного лекала | Значение параметра для прототипа | | |
|--|----------------------------------|-----|-----|
| | P4 | P5 | P6 |
| Смещение SCL вперед, см | 0,5 | 2,5 | 2,5 |
| Угол наклона вперед задней части рукава, град. | 0 | 3,5 | 3,5 |
| Угол наклона SSL вперед, град. | 0 | 6 | 6 |
| Сопряжение линий в области передней проймы | нет | нет | да |
| Сопряжение линий в области задней проймы | нет | нет | да |

Как показано в таблице 3.3, P6 обеспечивал наиболее согласованную геометрию двумерного лекала среди трех прототипов. Тем не менее сравнение двумерных лекал также показало, что отображение наклона вперед у P6 все еще

было меньше измеренных значений морфологии руки.

Сравнение трехмерных форм рукава реглан. Сравнение двухшовных лекал показало, что они не обеспечивают пространственное соотношение между рукавом и рукой. Поэтому три двухшовных прототипа были дополнительно оценены в трехмерной среде с использованием критериев формы пальто (C_c), установленных в разделе 2.4.2. Для количественной оценки пространственного соотношения между рукавом и рукой, а также стабильности поверхности рукава при одинаковых условиях моделирования были выделены три трехмерных показателя формы: Folds для оценки гладкости поверхности рукава, FC для описания пространственного соотношения рукава и руки внизу, $|a_s - b_s|$ для оценки согласованности направления рукава в области верхней части руки и локтя. На рисунке 3.8 показана схема измерения данных параметров.

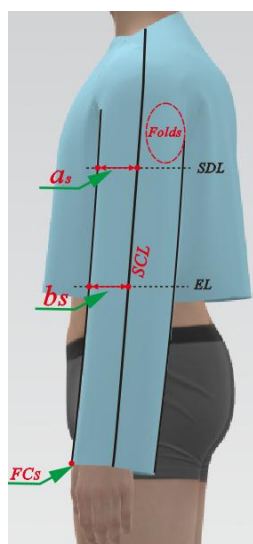


Рисунок 3.8 - Схема измерения параметров формы рукава реглан для количественной оценки пространственного соотношения между рукавом и рукой и согласованности наклона вперед

На рисунке 3.9 представлены сравнительные количественные результаты для P4, P5 и P6. Полные результаты измерений для всех сочетаний размеров по обхвату груди и категорий телосложения приведены в таблицах А.14–А.17, ПРИЛОЖЕНИЕ А.

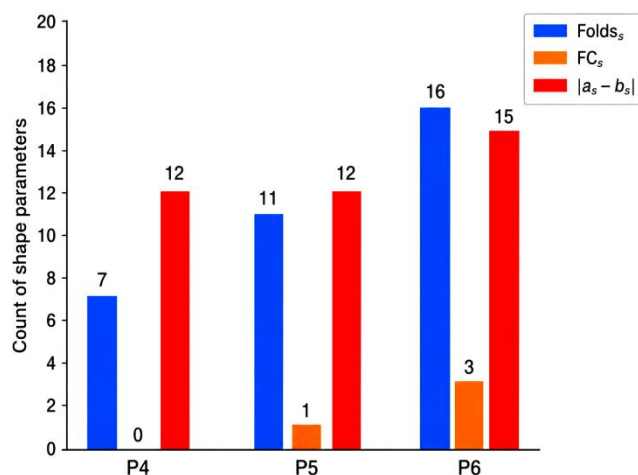


Рисунок 3.9 - Количество образцов, удовлетворяющих критериям формы рукава реглан, для прототипов P4, P5 и P6

Как показано на рисунке 3.9, P6 продемонстрировал наилучшие общие результаты среди трех прототипов, поскольку имел наибольшее количество образцов, удовлетворяющих трем критериям. Детальные измерения (таблицы А.15–А.17, ПРИЛОЖЕНИЕ А) показали ту же тенденцию: P6 характеризовался наименьшим средним количеством складок (0,2) и наибольшим средним значением FCs (0,5 см). Эти результаты показывают, что P6 обеспечивал наиболее стабильное пространственное соотношение между рукавом и рукой при совместном воздействии требований наклона вперед и сгибания в локтевой области, поэтому он был выбран в качестве базового прототипа для последующей разработки.

Однако при оценке по критерию C_C значения FC для P6 оставались ниже требования «хорошей формы» ($FC \in [1,0; 4,3]$ см). Это означает, что, хотя P6 показал наилучшие результаты в относительном выражении, его рукав все еще недостаточно отражал требуемый зазор наклона вперед в области манжеты.

3.2.2. Усовершенствование прототипа рукава реглан

Для прототипа P6 были разработаны две стратегии модификации на основе количественно описанной морфологии руки - ее наклона вперед и сгибания в локтевой области. Первая стратегия сохраняла исходную двухшовную конструкцию рукава для получения модифицированного прототипа P6m. В данном методе средняя линия рукава SCL дополнительно смещали вперед, а локтевую вытачку усиливали для поворота задней части рукава вперед и улучшения соответствия естественному наклону руки. Вторая стратегия преобразовывала P6 в

трехшовный рукав P7 путем введения дополнительной нижней части. Такая реконструкция позволяла нижней части рукава более свободно поворачиваться, тем самым улучшая соответствие наклону вперед и сгибанию в локтевой области. Эти две стратегии были разработаны для сравнения того, может ли недостаток показателя FC быть устранен путем корректировки параметров в рамках исходной двухшовной конструкции или требуется конструктивная модификация.

На рисунке 3.10 показаны конструктивные модификации, использованные в этих двух методах.

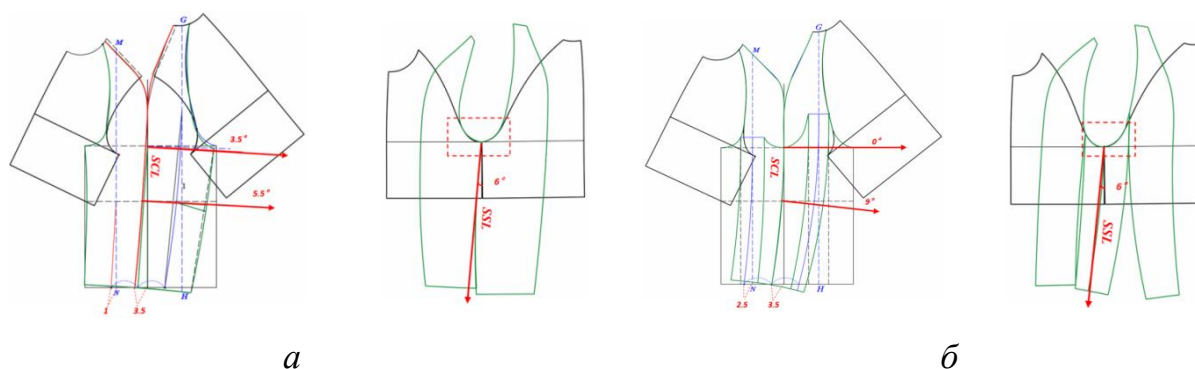


Рисунок 3.10 - Стратегии модификации прототипа P6: а - P6m; б - P7

Как показано на рисунке 3.10, двухшовная конструкция P6(m) была выполнена путем увеличения смещения SCL вперед до 3,5 см и задания поворота задней части рукава вперед на 9°, что соответствовало среднему углу сгибания руки в локтевой области. Данная корректировка обеспечила смещение вперед на 3,5 см как на уровне основания оката рукава, так и на уровне локтя. В трехшовной конструкции P7 основной наклон вперед задавали в задней локтевой области посредством поворота на 9°, что обеспечивало более эффективное смещение нижней части рукава вперед, тогда как поворот вперед по линии бокового шва оставался неизменным и составлял 6°. По сравнению с двухшовной конструкцией P7 обеспечивала большую конструктивную гибкость для учета естественного сгиба руки.

Для оценки эффективности этих двух стратегий модификации трехмерные формы рукавов P6, P6m и P7 были оценены с использованием 20 стандартизированных образцов виртуальной примерки при одинаковой позе, одинаковом материале и одинаковых настройках моделирования. Оценка проводилась по тем же критериям трехмерной формы рукава (разд. 3.2.1). Сводные результаты сравнительной валидации представлены в таблице 3.4, а полные результаты измерений для всех образцов приведены в ПРИЛОЖЕНИИ А (таблицы А.18–А.21).

Таблица 3.4 -Результаты сравнительной валидации прототипов P6, P6m и P7 после виртуальной примерки

| Параметры | Значение параметра для прототипов | | |
|-----------------------------------|-----------------------------------|-------|-------|
| | P6 | P6m | P7 |
| Folds | 16 | 16 | 18 |
| FCs | 3 | 6 | 19 |
| $ a_s - b_s $ | 15 | 15 | 18 |
| Общее число выполненных критериев | 34 | 37 | 55 |
| Общий уровень соответствия | 56,7% | 61,7% | 91,7% |

Как показано в таблице 3.4, по сравнению с исходным прототипом P6 модифицированный двухдетальный рукав P6m продемонстрировал ограниченное, но отчетливое улучшение: общий уровень соответствия повысился с 56,7% до 61,7%. Наиболее заметное улучшение наблюдалось по показателю FC, где число образцов, удовлетворяющих данному критерию, увеличилось с 3 до 6. Однако трехдетальный прототип P7 показал значительно более выраженное улучшение по всем критериям. Он обеспечил 18 случаев с Folds = 0, 19 случаев, удовлетворяющих критерию FC, и 18 случаев, удовлетворяющих допуску $|a_s - b_s|$. В результате общий уровень соответствия достиг 91,7%. Эти результаты демонстрируют, что, хотя доработка двухшовного рукава в определенной степени улучшила исходный прототип, но трехшовный рукав обеспечил значительно более стабильную и эффективную конструктивную реакцию на наклон руки вперед и ее сгибание.

Для визуального подтверждения выявленных тенденций на рисунке 3.11 представлены сравнения исходного прототипа P6 и двух модифицированных прототипов P6m и P7, позволяющие визуально подтвердить тенденции, наблюдавшиеся в сводных результатах валидации.

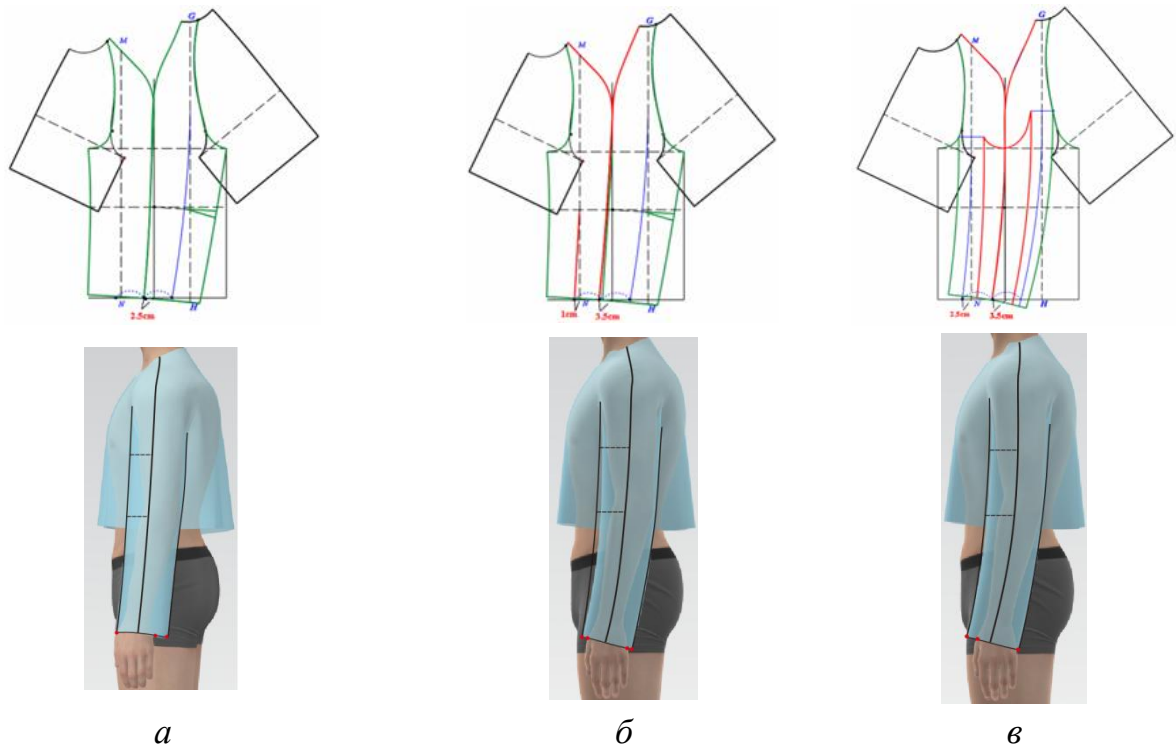


Рисунок 3.11 - Сравнение геометрии лекал и соответствующих им трехмерных форм рукава для трех прототипов: *а* - P6; *б* - P6m; *в* - P7

Как показано на рисунке 3.11, сравнения показывают последовательное улучшение от P6 к P6m, а затем к P7. По мере повышения конструктивного соответствия рукав демонстрирует более выраженный поворот вперед, меньшее количество неровностей в подмышечной области и более согласованную реакцию на сгибание, приближаясь к естественному положению руки. В частности, P7 показывает наиболее стабильное согласование между рукавом и рукой как в верхней, так и в нижней частях рукава. Это преимущество можно объяснить дополнительной геометрической свободой, обеспечиваемой трехдетальной конструкцией, которая позволила форме рукава эффективнее реагировать на количественно описанную морфологию руки.

3.3. Разработка конструкции пальто

Цель данного раздела заключается в выявлении ключевых конструктивных параметров, определяющих форму пальто, определении их эффективных диапазонов значений и установлении количественной зависимости между конструктивными параметрами и параметрами формы.

3.3.1. Оценка упрощенного условия виртуальной примерки

В предыдущих экспериментах пальто реглан было построено на основе базовых конструкций стана и рукава, чтобы влияние исключения воротника, подкладки и подборта. Поэтому в данном исследовании виртуальная примерка применялась как основной метод проверки формы. Реальное пальто обычно включает полные конструктивные элементы, такие как воротник, подкладка и подборт. В условиях виртуальной примерки эти дополнительные элементы повышают сложность моделирования и имитации технологического процесса, а также могут вносить дополнительный шум моделирования. Соответственно, последующие виртуальные анализы проводились при упрощенном конструктивном условии, при котором не критические детали исключались. Однако перед принятием данного условия необходимо было определить, будет ли исключение воротника, подкладки и подборта существенно влиять на оценку основных признаков формы пальто.

Для решения этого вопроса был проведен сравнительный эксперимент в условиях реального изделия с использованием двух вариантов одной и той же конструкции. В одном варианте воротник, подкладка и подборт были полностью сохранены; в другом эти элементы были удалены. В качестве внешнего материала использовалась серая хлопчатобумажная ткань средней толщины, чтобы любые различия формы, вызванные наличием или отсутствием этих элементов, могли быть ясно наблюдаемы. Подкладка была выполнена из полиэфирной подкладочной ткани плотностью 80 г/м².

На рисунке 3.12 показано сравнение пальто с воротником, подкладкой и подбортом и без них; красными рамками выделены локальные области, где могут наблюдаться небольшие различия. Помимо видов сзади, спереди и сбоку, были получены наложения контуров спереди и сбоку, чтобы проверить, изменяет ли исключение этих конструктивных деталей основную границу силуэта.

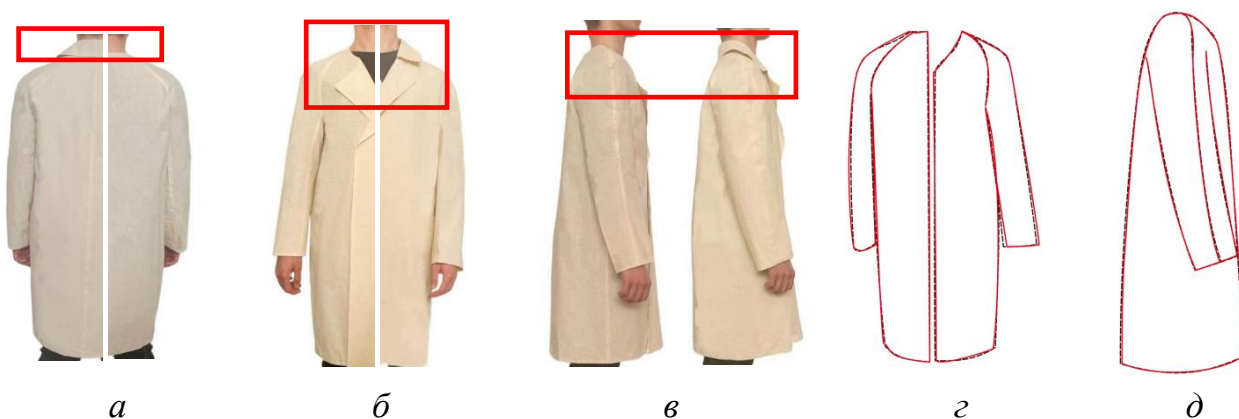


Рисунок 3.12 - Сравнение формы пальто с воротником, подбортом и подкладкой и без них: а - вид сзади; б - вид спереди; в - вид сбоку; слева - с воротником, подбортом и подкладкой; справа - без этих элементов; г - наложение контуров вида спереди; д- наложение контуров вида сбоку. Черный контур - без воротника, подборта и подкладки; красный контур - с этими элементами.

Как показано на рисунке 3.12, а–в, визуальное сравнение показывает, что форма пальто оставалась весьма сходной, а именно с воротником, подбортом и подкладкой и без них. Рисунок 3.12г–д дополнительно показывает, что основные границы силуэта в видах спереди и сбоку оставались в высокой степени согласованными.

Для подтверждения данного визуального наблюдения был выполнен анализ SSIM с использованием соответствующих видов сзади, спереди и сбоку. Глобальный SSIM в оттенках серого использовали для оценки общего визуального сходства, включая локальные различия в оттенках серого и текстуре. SSIM маски силуэта рассчитывался на основе бинарных масок изделия, чтобы сосредоточиться на сходстве внешнего контура и уменьшить влияние локальных визуальных деталей [125]. Таблица 3.5 показывает сравнение визуальной структурной согласованности между пальто с воротником, подбортом и подкладкой и без них на основе SSIM. Полный процесс анализа и подробные результаты представлены в таблицах А.25–А.28 ПРИЛОЖЕНИЯ А.

Таблица 3.5 - Сравнение формы пальто с воротником, подбортом и подкладкой и без них на основе SSIM

| Вид | Глобальный SSIM в оттенках серого | SSIM маски силуэта | Основная область различий |
|-------------|-----------------------------------|--------------------|---------------------------|
| Вид сзади | 0,775 | 0,885 | Горловина спинки |
| Вид спереди | 0,806 | 0,883 | Воротник, лацкан |

| | | | |
|------------------|-------|-------|---|
| Вид сбоку | 0,766 | 0,887 | Плече-шейная область и пространство между рукавом и рукой |
| Среднее значение | 0,782 | 0,885 | Локальные детали верхней части изделия |

Как показано в таблице 3.5, значения глобального SSIM в оттенках серого составили 0,775, 0,806 и 0,766 для видов сзади, спереди и сбоку соответственно, что указывает на относительно высокий уровень общего сходства структуры изображения. Более важно, что значения SSIM маски силуэта достигли 0,885, 0,883 и 0,887 соответственно, подтверждая, что основной внешний контур пальто в значительной степени сохранялся после удаления воротника, подборта и подкладки. Более низкие значения SSIM в оттенках серого по сравнению со значениями SSIM маски силуэта указывают на то, что различия в основном были вызваны локальными визуальными деталями, а не изменениями общего контура изделия. Эти локальные различия были сосредоточены в плече-шейной области, а также в зоне воротника и лацкана. Такие области непосредственно зависят от наличия воротника и подборта, тогда как рукав, контур стана, боковой силуэт и нижний край оставались структурно стабильными. Хотя небольшие различия наблюдались в плече-шейном переходе, они не изменяли основной боковой силуэт или взаимосвязь между рукавом и рукой на уровне манжеты, использовавшуюся в последующей оценке. Поэтому исключение воротника, подкладки и подборта оказывало ограниченное влияние на визуальные детали верхней части изделия, но существенно не влияло на оценку наклона рукава вперед, баланса стана или общего силуэта пальто.

Поэтому для упрощения экспериментальной процедуры, снижения шума моделирования в виртуальной среде и обеспечения более прямой направленности последующих анализов на взаимосвязь между конструкцией лекала и формой изделия воротник, подкладка и подборт были исключены в последующих экспериментах виртуальной примерки. Затем данное упрощенное условие было принято в качестве единой экспериментальной установки для последующего анализа конструктивных параметров и оценки формы.

3.3.2. Весовой анализ конструктивных параметров

Все выборки данных имели нормальное распределение.

Статистический анализ и диагностика коллинеарности конструктивных параметров. В таблице 3.6 представлены коэффициенты корреляции Пирсона между конструктивными переменными X и переменными формы Y. Значимые

показатели ($p < 0,05$) выявляют конструктивные переменные, чувствительные к изменению формы, и тем самым дают прямое основание для выбора ключевых конструктивных параметров.

Таблица 3.6 - Коэффициенты корреляции Пирсона между конструктивными переменными X и переменными формы Y

| Коэффициент корреляции | Y ₁ | Y ₂ | Y ₃ | Y ₄ |
|------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| X ₁ | .901** | -0.298 | -0.154 | -0.01 |
| X ₂ | .526* | .457* | 0.058 | 0.33 |
| X ₃ | .595** | -.493* | -0.168 | -0.165 |
| X ₄ | .926** | -0.057 | -0.106 | 0.135 |
| X ₅ | -0.169 | .601** | 0.137 | .747** |
| X ₆ | 0.337 | -.485* | -0.179 | -.878** |
| X ₇ | 0.161 | .535** | 0.016 | .915** |
| X ₈ | -0.008 | 0.32 | 0.28 | -0.041 |
| X ₉ | 0.06 | 0.202 | -.648** | -0.105 |
| X ₁₀ | -0.073 | 0.034 | .899** | 0.083 |
| X ₁₁ | -0.063 | 0.948** | 0.003 | .538** |
| X ₁₂ | -0.09 | -0.035 | .956** | 0.032 |
| X ₁₃ | -0.013 | 0.112 | .873** | 0.087 |
| X ₁₄ | 0.031 | 0.187 | .770** | 0.112 |

Примечание: r Пирсона, двусторонний тест. $p < 0,05$ (), $p < 0,01$ (**). $n = 23$.*

Как показано в таблице 3.6, основное внимание было уделено четырём результатам. Во-первых, X₁, X₂, X₃ и X₄ имеют значимую корреляцию с Y₁, что показывает, что наклоны плечевых линий влияют на пространственное положение передней и задней частей рукава и, далее, на пространственную форму взаимного расположения рукава и руки. Во-вторых, углы соединения плеча и рукава (X₅, X₆ и X₇) имеют сильную корреляцию со складками Folds (Y₄), что показывает, что угловая конфигурация зоны соединения плеча и рукава играет ключевую роль в определении гладкости поверхности рукава. В-третьих, Offset(SCL) (X₁₁) имеет значимую положительную корреляцию с FC (Y₂) ($r = 0,948$), что показывает, что степень смещения средней линии рукава непосредственно влияет на пространственное взаимное расположение рукава и руки внизу, а также на величину смещения рукава вперёд. В-четвёртых, X₉, X₁₀ и X₁₂–X₁₄ имеют значимую корреляцию с Y₃, что показывает, что передне-заднее распределение, а также смещение на уровнях верхней части руки и низа являются ключевыми

факторами, влияющими на положение рукава и общий силуэт. X8 имеет слабую корреляцию со всеми параметрами формы, поэтому он был исключён и в последующих этапах не рассматривался. Следовательно, можно видеть, что 13 структурных параметров имеют значимую корреляцию с параметрами формы.

Однако необходимо отметить, что корреляция Пирсона отражает только взаимосвязь между двумя переменными и не учитывает взаимозависимость между структурными переменными. Поэтому статистически чувствительные к форме переменные, выявленные на основе корреляционного анализа Пирсона, перед регрессионным моделированием требуют дальнейшей проверки на мультиколлинеарность. Передняя и задняя части рукава пальто конструктивно связаны со станом и воротником, поэтому между ними существует значительная структурная взаимозависимость. Изменение одного структурного параметра может приводить к изменению других связанных параметров, что является ключевым признаком мультиколлинеарности. Поэтому в данном разделе используется метод скрининга корреляционной матрицы для оценки мультиколлинеарности между 13 структурными параметрами с целью стабилизации последующего регрессионного моделирования.

В таблице 3.7 представлена корреляционная матрица, отражающая коэффициенты корреляции Пирсона между девятью эффективными конструктивными параметрами.

Таблица 3.7 - Диагностика коллинеарности конструктивных параметров

| Корреляция | X1 | X2 | X3 | X4 | X5 | X6 | X7 | X8 | X9 | X10 | X11 | X12 | X13 | X14 |
|------------|--------|--------|--------|--------|---------|-------|--------|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|
| X1 | 1 | | | | | | | | | | | | | |
| X2 | 0.106 | 1 | | | | | | | | | | | | |
| X3 | .884** | -0.371 | 1 | | | | | | | | | | | |
| X4 | .902** | .525* | .595* | 1 | | | | | | | | | | |
| X5 | -0.365 | 0.331 | -.498* | -0.169 | 1 | | | | | | | | | |
| X6 | .516* | -0.247 | .599* | 0.335 | -.902** | 1 | | | | | | | | |
| X7 | 0.018 | 0.325 | -0.136 | 0.157 | .742* | -0.38 | 1 | | | | | | | |
| X9 | 0.093 | -0.037 | 0.104 | 0.065 | -0.209 | 0.222 | -0.104 | 1 | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------|--------------|-------------|-------------|-------------|------------|-------------|-------------|--------------|------------|--------|------------|------------|---|
| X ₁₀ | -0.07 7 | -0.038 8 | -0.045 5 | -0.076 6 | 0.183 3 | -0.191 1 | 0.094 4 | -.714 ** | 1 | | | | |
| X ₁₁ | -0.303 03 | .455* 8 | -.497* 5 | -0.062 2 | .600* 3 | -.483* 1 | .535** 4 | 0.206 6 | 0.033 3 | 1 | | | |
| X ₁₂ | -0.064 64 | -0.089 9 | -0.016 6 | -0.094 4 | 0.117 7 | -0.136 6 | 0.039 9 | -.677** 9 | .972* * | -0.035 | 1 | | |
| X ₁₃ | -0.005 05 | -0.028 8 | 0.01 1 | -0.017 7 | 0.06 6 | -0.021 1 | 0.094 4 | -.545** 5 | .864* * | 0.115 | .923* * | 1 | |
| X ₁₄ | 0.028 8 | 0.008 8 | 0.024 4 | 0.027 7 | 0.024 4 | 0.044 4 | 0.119 9 | -.436* * | .747* * | 0.19 | .820* * | .977* * | 1 |

Как показано в таблице 3.7, коэффициент корреляции $|r| > 0,8$ указывает на сильную корреляцию и свидетельствует о возможном наличии мультиколлинеарности между переменными. Для обеспечения стабильности коэффициентов в последующем регрессионном анализе на основе таблицы 3.7 были выявлены группы избыточных параметров, чтобы уменьшить число переменных перед моделированием. Корреляции между структурными параметрами можно чётко обобщить в четыре группы: группа параметров углов наклона плечевых линий (X₁–X₄) ($|r| = 0,595–0,901$), группа параметров углов соединения плеча и рукава X₅–X₇ ($|r| = 0,535–0,601$), группа параметров распределения передней и задней частей рукава X₉, X₁₀ и X₁₂–X₁₄ ($|r| = 0,770–0,956$), а также параметр смещения низа рукава Offset(SCL) (X₁₁). Первые три группы образуют три структурно связанные группы параметров, что указывает на различную степень избыточности переменных. Это означает, что часть избыточных параметров может быть исключена без потери ключевой информации, а из этих групп могут быть выбраны репрезентативные переменные для снижения избыточности перед регрессионным моделированием. Четвёртый параметр, а именно параметр смещения манжеты Offset(SCL) (X₁₁), является относительно независимым от других параметров и имеет чрезвычайно сильную корреляцию с параметром формы Y₂ ($r = 0,948$), что указывает на его прямое влияние на пространственное взаиморасположение рукава и руки в области манжеты.

Весовой анализ конструктивных параметров. Для дальнейшего анализа весомости структурных параметров был проведен субъективный анализ на основе промышленного процесса построения конструкции рукава реглан. Путем объединения китайских и российских методов построения рукавов реглан был обобщен весь процесс построения конструкции.

В таблице 3.8 представлены этапы процесса построения конструкции рукава реглан, от определения BSNP и FSNP до разницы линии бокового шва

нижней части рукава. Каждый этап включает конкретные конструктивные параметры и параметры формы, все из которых были тщательно проанализированы.

Таблица 3.8 - Весовой анализ конструктивных параметров в производственном процессе

| Этап | Процессы построения конструкции | Конструктивный параметр | Параметр формы | Вес |
|------|---------------------------------------|-----------------------------------|-----------------|---------------------------------|
| 1 | Определение FSNP, BSNP | \ | \ | \ |
| 2 | Определение SP (наклон плеча) | $\Delta(\angle BSS - \angle FSS)$ | X ₃ | \ |
| | | $\Delta(\angle BSS + \angle FSS)$ | X ₄ | Y ₄ |
| 3 | Определение SCL (средняя линия плеча) | $\angle BA$ | X ₅ | Y ₄ |
| | | $\angle FA$ | X ₆ | Y ₂ , Y ₄ |
| | | $\Delta(BA + FA)$ | X ₇ | Y ₄ |
| 4 | Определение SH (высота рукава) | \ | \ | \ |
| 5 | Определение SW (ширина рукава) | FSW | X ₉ | Y ₁ , Y ₃ |
| | | $\Delta(BSW - FSW)$ | X ₁₀ | |
| 6 | Определение CW (ширина манжеты) | Offset(SCL) | X ₁₁ | Y ₂ , Y ₄ |
| 7 | Определение нижнего шва рукава | i | X ₁₂ | Y ₁ , Y ₃ |
| | | j | X ₁₃ | Y ₁ , Y ₃ |
| | | $\Delta(i-j)$ | X ₁₄ | Y ₃ |

Как показано в таблице 3.8, иерархия весомости выглядит следующим образом:

$$X_1, X_2, X_3, X_4 > X_5, X_6, X_7 > X_9, X_{10} > X_{11} > X_{12}, X_{13}, X_{14}$$

Данная иерархия отражает последовательную зависимость этапов построения лекал в промышленном процессе проектирования рукава реглан. Во-первых, параметры конфигурации наклона плеча $\angle BSS$ и $\angle FSS$ (X₁–X₄) имеют наибольший вес. Это показывает, что углы наклона плеча являются наиболее критическими параметрами в процессе построения лекала рукава реглан, поскольку они определяют общую посадку и согласование между рукавом и телом. Во-вторых, следующими по значимости параметрами являются углы соединения

плеча и рукава X_5 – X_7 , которые дополнительно улучшают посадку и согласование рукава, особенно по отношению к внешнему контуру руки. В-третьих, параметры разности ширины рукава X_9 и X_{10} , а также Offset(SCL) X_{11} являются важными параметрами, поскольку они непосредственно влияют на согласованность между формой рукава и естественной морфологией руки. Наконец, различия линии бокового шва нижней части рукава X_{12} – X_{14} участвуют в общем формировании формы рукава, а положение нижнего шва рукава также влияет на распределение между большой и малой частями рукава.

Сочетая результаты анализа коллинеарности (таблица 3.7) с анализом весомости, основанным на производственном процессе (таблица 3.8), были выполнены четыре этапа сокращения переменных:

(1) X_1 – X_4 показали относительно сильные корреляции. С учётом их высокого веса в процессе построения лекал X_3 и X_4 совместно определяют распределение между передним и задним наклонами плеча и оказывают ключевое влияние на форму плечевого наклона; поэтому X_3 и X_4 были сохранены, а X_1 и X_2 исключены.; (2) X_5 – X_7 показали сильные корреляции. Среди них X_7 имел более сильную корреляцию с показателем складок Y_4 ($|r| = 0,915$), чем X_5 ($|r| = 0,747$) и X_6 ($|r| = 0,878$) (таблица 3.6). Поэтому X_7 был сохранён;

(3) X_9 и X_{12} – X_{14} расположены соответственно на 5-м и 7-м этапах процесса построения лекал, имеют относительно низкий вес и обладают высокой избыточностью по отношению к X_{10} . Поэтому X_9 и X_{12} – X_{14} были исключены, а X_{10} был сохранён;

(4) Offset(SCL) X_{11} является относительно независимым параметром, расположенным на 6-м этапе процесса построения лекал. Он является ключевым параметром для оценки формы в ранее установленных критериях формы и показал сильную корреляцию с параметром формы Y_2 ($r = 0,948$), что указывает на его прямое влияние на форму наклона рукава вперёд. Поэтому X_{11} был сохранён.

В итоге были выбраны пять ключевых структурных параметров, оказывающих наибольшее влияние на форму рукава реглан: X_3 , X_4 , X_7 , X_{10} и X_{11} . Однако необходимо отметить, что между X_3 и X_4 существует определённая степень коллинеарности, а коэффициент корреляции X_4 ($r = 0,902$) выше, чем у X_3 ($r = 0,884$). Поэтому в последующем регрессионном моделировании X_4 был включён в регрессионное уравнение как ключевой структурный параметр, тогда как X_3 был сохранён как вспомогательный параметр для ограничения распределения между передним и задним наклонами плеча.

3.3.3. Проверка влияния ключевых конструктивных параметров на форму пальто

Пять ключевых количественно измеряемых конструктивных параметров, выявленных в разделе 3.3.2, а именно X_3 , X_4 , X_7 , X_{10} и X_{11} , были численно охарактеризованы соответственно как $\Delta(\angle BSS - \angle FSS)$, $\Delta(\angle BSS + \angle FSS)$, $\Delta(\angle BA + \angle FA)$, $\Delta(BSW - FSW)$ и $Offset(SCL)$. Наблюдаемые диапазоны значений этих параметров были сначала получены на основе 23 конструкций рукава реглан. Эти диапазоны послужили числовой основой для последующих испытаний с контролируемым варьированием параметров.

В таблице 3.9 представлена количественная характеристика ключевых конструктивных параметров, измеренных по 23 конструкциям рукава реглан. Они были извлечены с использованием стандартизированной схемы измерений, описанной на рисунке 2.4. Полный набор данных представлен в таблице А.22 ПРИЛОЖЕНИЯ А.

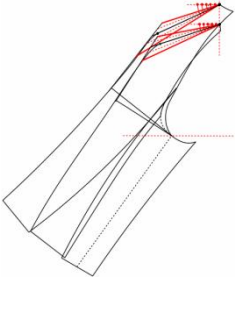
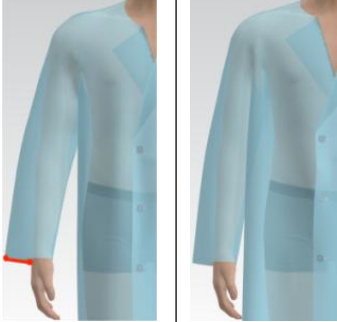
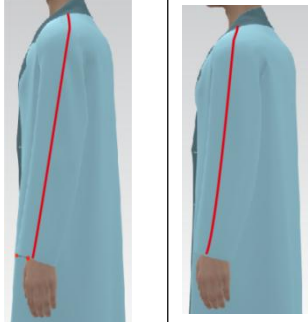
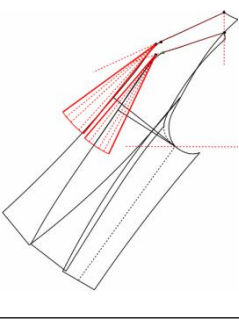
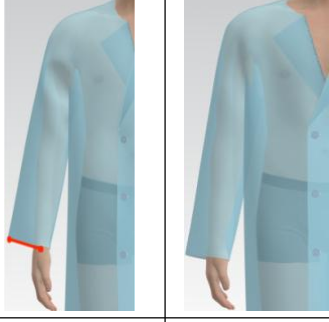

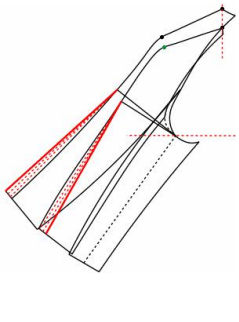


Таблица 3.9 - Количественная характеристика ключевых конструктивных параметров

| Параметр | $X_3, ^\circ$ | $X_4, ^\circ$ | $X_7, ^\circ$ | $X_{10}, \text{см}$ | $X_{11}, \text{см}$ |
|------------------|---------------|---------------|---------------|---------------------|---------------------|
| Среднее значение | 4,5 | 45,2 | 53,8 | 2,6 | 1,6 |
| Максимум | 12,4 | 54 | 83,9 | 8,3 | 3,5 |
| Минимум | -4,5 | 33,2 | 22,3 | -0,7 | 0 |

На основе описательной статистики влияние ключевых конструктивных параметров рукава на форму пальто было проверено с использованием Style3D. Качество рукава оценивалось по установленным критериям. Показатель $Folds = 0$ использовался как основное условие соответствия для качества поверхности рукава, тогда как FD , FC и $|a - b|$ использовались для интерпретации конфигурации и согласования между рукавом и рукой.

Влияние ключевых конструктивных параметров рукава на форму пальто. В таблице 3.10 показано влияние ключевых конструктивных параметров на форму рукава реглан.

Таблица 3.10 - Влияние ключевых конструктивных параметров на форму рукава реглан

| | | | | | |
|---|-------|---|-----|---|-----|
|  | |  | |  | |
| $X_4 [33^\circ \dots 54^\circ]$ | | 33 | 53 | $X_3 [-4.5^\circ \dots 12.4^\circ]$ | |
| Уровень посадки | FD | 4.5 | 2.7 | FC | 2 |
| | Folds | 2 | 0 | Folds | 2 |
|  | |  | |  | |
| $X_7 [22.3^\circ \dots 72.4^\circ]$ | | 54 | 66 | $X_{10} [-0.7 \dots 8.3 \text{cm}]$ | |
| Уровень посадки | FD | 5.7 | 3.1 | $ a-b $ | 2.2 |
| | Folds | 2 | 0 | Folds | 2 |
|  | |  | |  | |
| $X_{11} [0 \dots 3.5 \text{cm}]$ | | 0 | | 3.5 | |
| Уровень посадки | FC | 0 | | 1.8 | |
| | Folds | 2 | | 0 | |

Как показано в таблице 3.10, эти параметры постепенно корректировали, а полученные посадка и внешний вид рукава анализировали посредством трехмерных виртуальных примерок. Полные визуальные результаты представлены в таблице А17 ПРИЛОЖЕНИЯ А. Были проверены следующие ключевые конструктивные параметры:

(1) когда X_4 находился в диапазоне $[40^\circ, 54^\circ]$, рукав наиболее плотно соответствовал руке, без видимых складок. При 61° складки снова появлялись ($Folds = 1$); поэтому 61° рассматривали как контрольную точку за пределами диапазона, а не как часть интервала хорошей формы, и 40° - 54° был сохранен как практический диапазон;

(2) X_3 контролировал конфигурацию «рукав–рука»: при его увеличении от -3° до 6° FC уменьшался с 2,0 см до 1,3 см, а $Folds$ снижался с 2 до 0, тогда как при 9° складки появлялись снова. Поэтому благоприятным интервалом был определен диапазон 0° - 6° ;

(3) X_7 влиял на соответствие рукава; хорошая поверхность рукава ($Folds = 0$) была получена при 60° - 72° ;

(4) X_{10} влиял на формообразование рукава; когда он находился в пределах 2,5-7,5 см, рукав выравнивался более стабильно и не имел видимых складок;

(5) смещение средней линии рукава в области манжеты вперед (X_{11}) улучшало согласование с наклоном руки вперед; в диапазоне 1,5-3,5 см складки устранялись, а лучший результат в данном испытании был получен при $Offset(SCL) = 2$ см.

В целом результаты пошаговой корректировки в Style3D подтвердили, что $Folds = 0$ можно стабильно достигнуть, когда параметры находятся в следующих диапазонах: X_3 $[0^\circ \dots 6^\circ]$, X_4 $[40^\circ \dots 54^\circ]$, X_7 $[60^\circ \dots 72^\circ]$, X_{10} $[2,5 \dots 7,5 \text{ см}]$ и X_{11} $[1,5 \dots 3,5 \text{ см}]$. Эти результаты определили эффективные диапазоны значений ключевых конструктивных параметров рукава и подтвердили их непосредственное влияние на форму пальто.

Влияние ключевых конструктивных параметров стана на форму пальто. Помимо переменных, связанных с рукавом, конструктивные параметры стана также влияют на форму пальто через их воздействие на баланс стана и внешний вид рукава. Поэтому в данной части дополнительно рассматривалось влияние проектирования прибавки по стану, включая расположение, пропорцию и величину прибавки по обхвату груди, на формируемую форму пальто.

1. *Параметры стана.* На рисунке 3.13 показаны три рассматриваемых параметра стана: различные значения $E(CG)$; расположение распределения прибавки по обхвату груди по переду стана ($L(F)$), спинке стана ($L(B)$) и областям, связанным с проймой ($L(A)$); пропорция распределения прибавки по обхвату груди на стане: ширина переда (FW), ширина проймы (AHW) и ширина спинки (BW).

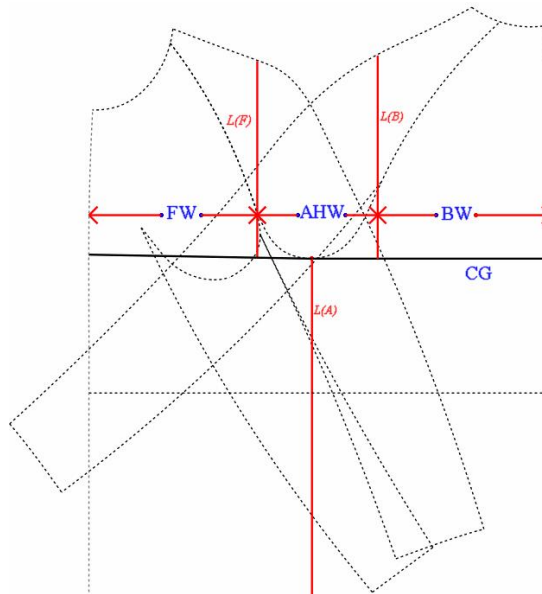
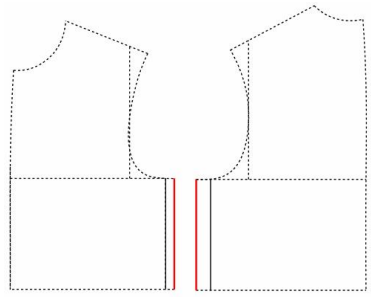
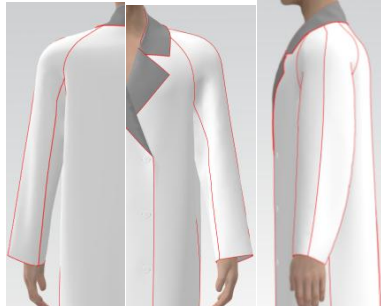
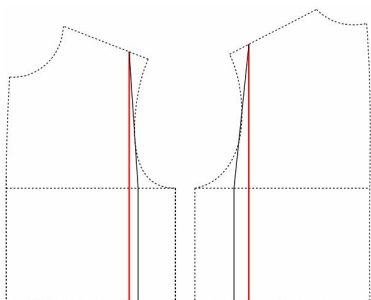
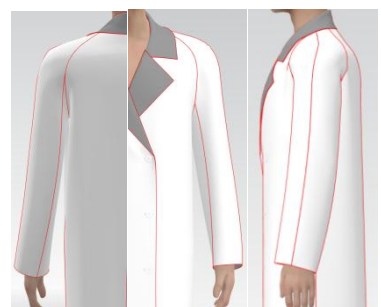


Рисунок 3.13 - Схема распределения конструктивной прибавки к полуобхвату груди $E(CG)$ по ширине стана

Для всесторонней оценки $E(CG)$ стана были выделены три часто используемые соотношения распределения прибавки по $FW-ANW-BW$: 33,3:33,3:33,3; 16,7:33,3:50; и 14,2:33,3:52,5. Эти три соотношения были получены путем нормализации распределения $E(CG)$ каждого из 23 лекал по долям $FW-ANW-BW$; распределение сгруппировалось в три доминирующие схемы, которые были приняты в качестве стандартизированных уровней ①–③ для валидации. Эти соотношения, обозначенные как ①–③ на рисунке 2.27, использовали в качестве стандартизированных уровней для валидации. Конструкция рукава оставалась неизменной.

2. *Влияние расположения и пропорции распределения $E(CG)$.* В первом испытании $E(CG)$ была равна 16 см. Сравнивались два варианта размещения: прибавка в ANW , то есть в области проймы, и прибавка в FW/BW , то есть по ширине переда и спинки. Таблица 3.11 показывает репрезентативные эффекты распределения $E(CG)$ (ANW , FW/BW) и качество посадки Good (G) / NotGood (NG). Полные результаты для пропорций ①–③ при обоих вариантах расположения распределения представлены в таблице А.23 ПРИЛОЖЕНИЯ А.

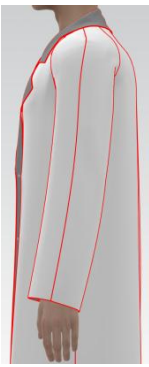
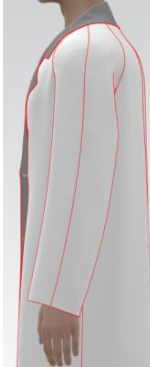
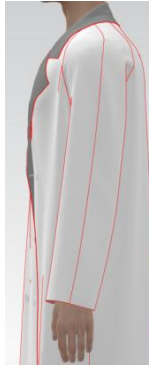

Таблица 3.11 - Репрезентативное влияние распределения $E(CG)$ на форму рукава пальто

| 2D-лекало | | 3D-форма | Уровень посадки |
|------------------------|--|---|-----------------|
| Распределение прибавки | Пропорция прибавки | | |
| ② 16.7:33.3:50 |  |  | NG |
| АНW (L(A)) | | | |
| ② 16.7:33.3:50 |  |  | G |
| FW - BW (L(F) / L(B)) | | | |

Как показано в таблице 3.11, увеличение прибавки в АНW приводит к появлению видимых складок при всех трех схемах распределения, а наклон рукава вперед не показывает явных различий. Напротив, увеличение прибавки к $L(F)$ и $L(B)$ уменьшало складки и делало внешний вид рукава чувствительным к пропорции распределения. Равномерное распределение между FW и BW обеспечивает более гладкую поверхность рукава и более выраженный его наклон вперед.

3. Влияние различных значений $E(CG)$. При сохранении данной схемы распределения $E(CG)$ изменяли (12, 16, 20 и 28 см), чтобы изучить его влияние на форму рукава реглан. Конструкция рукава оставалась неизменной во всех случаях.

Таблица 3.12 - Влияние различных значений E(CG) на форму рукава пальто (пропорция распределения 16,7:33,3:50)

| Положение E(CG) | 3D-форма | | | |
|-----------------|---|---|---|---|
| FW/BW |  |  |  |  |
| E(CG),cm | 12 | 16 | 20 | 28 |
| Fit Level | G | G | G | NG |



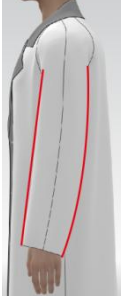



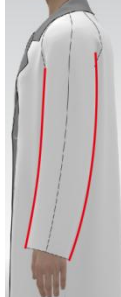





Как показано в таблице 3.12, уровень посадки оставался Good (G) при E(CG) от 12 до 20 см, но становился NotGood (NG) при 28 см. При этом большее значение E(CG) постепенно ослабляло проявление наклона рукава вперед и его изгиба, несмотря на то что конструкция рукава оставалась неизменной.

Эти результаты подтверждают, что величина прибавки по обхвату груди сама по себе является управляющим фактором формы пальто. При одинаковом расположении и пропорции распределения прибавки меньшее значение E(CG) обеспечивает более выраженный наклон вперед.

Для дальнейшей визуализации совместного влияния пропорции прибавки по обхвату груди и значения E(CG) при условии распределения FW/BW таблица 3.13 показывает репрезентативные варианты внешнего вида формы рукава при трех пропорциях распределения и четырех уровнях E(CG).

Таблица 3.13 - Интегрированное визуальное сравнение формы рукава пальто при различных пропорциях прибавки по обхвату груди и значениях E(CG)

| Доля E(CG), % | Прибавка по груди для различных форм, см | | | |
|---------------|--|-----------------|---------------|-----------|
| | Прилегающий | Полуприлегающий | Полусвободный | Свободный |
| | 12 | 16 | 20 | 28 |
| | | | | |

| | | | | |
|----------------|--|--|--|--|
| 33.3:33.3:33.3 |  |  |  |  |
| 16.7:33.3:50 |  |  |  |  |
| 14.2:33.3:52.5 |  |  |  |  |













Как показано в таблице 3.13, форма рукава оставалась относительно стабильной при малых и средних значениях $E(CG)$, тогда как чрезмерная прибавка снижала четкость заданной конфигурации рукава реглан. Эти визуальные сравнения согласуются с количественной оценкой, представленной в предыдущих подразделах, и дополнительно подтверждают, что проектирование прибавки стана должно рассматриваться совместно с конструктивными параметрами рукава при управлении формой пальто.

4. *Валидация оптимизированного набора конструктивных параметров для улучшения формы.* Были проведены дополнительные корректировочные испытания, чтобы определить, могут ли проверенные диапазоны параметров использоваться для улучшения формы пальто на практике. В данном разделе практическая эффективность оптимизированного набора параметров проверяется с помощью двух взаимодополняющих стратегий: однофакторной корректировки, используемой для подтверждения изолированного вклада каждого ключевого параметра в формообразование, и многофакторной координации, используемой для проверки того, может ли хорошая форма рукава достигаться более стабильно

за счет сопряженных корректировок. Процесс совершенствования проверяется путем сравнения виртуальных примерок и реальных образцов пальто для оценки реализуемости и эффективности корректировок параметров.

Таблица 3.14 показывает репрезентативные результаты однофакторной корректировки путем сравнения формы пальто до и после корректировки каждого конструктивного параметра. Полное сравнение, включающее как виртуальные, так и реальные результаты валидации, представлено в таблице А.24 ПРИЛОЖЕНИЯ А.

Таблица 3.14 - Улучшение ключевых параметров формы рукава реглан

| № | ① | | ② | | ③ | |
|------------------|---|---|---|---|---|---|
| Параметры лекала | $\Delta(FSS+BSS)$, ° | | $\Delta(BA+FA)$, ° | | $\Delta(BSW-FSW)$, cm | |
| | 32 | 47 | 54 | 66 | 0 | 3 |
| Реальная форма |  |  |  |  |  |  |
| Оценка посадки | NG | G | NG | G | NG | G |
| № | ④ | | ⑤ | | ⑥ | |
| Параметры лекала | Offset(SCL), cm | | E(CG) Распределение, cm | | Значения E(CG),cm16.7:33.3:50 | |
| | 0 | 2 | 33.3:33.3:33.3 | 16.7:33.3:50 | 8 | 16 |
| Реальная форма |  |  |  |  |  |  |
| Оценка посадки | NG | G | NG | G | G | G |

Как показано в таблице 3.14, синие и красные линии на лекале обозначают конструктивные линии до и после корректировок соответственно. Красные линии на 3D-модели выделяют ключевые линии формы, демонстрируя изменения формы пальто, вызванные корректировками параметров. На основе установленных рациональных диапазонов формы рукава реглан исходные конструктивные параметры были скорректированы.

Сравнение виртуальных и реальных моделей изделия показало, что корректировка конструктивных параметров в пределах оптимального диапазона значительно улучшила посадку и внешний вид рукава реглан. Это подтвердило эффективность установленных диапазонов конструктивных параметров для достижения оптимальной формы и подчеркнуло значительное влияние ключевых конструктивных параметров на форму рукава. Опираясь на результаты однофакторной оптимизации, была исследована совместная корректировка нескольких конструктивных параметров для достижения оптимальной формы рукава реглан. При использовании тех же размерных признаков тела и того же двумерного лекала пальто было изготовлено из 100% кашемира, а схемы оптимизации всех конструктивных параметров постепенно интегрировались.

После подтверждения эффектов однофакторной корректировки рисунок 3.14 дополнительно показывает процесс совместной многофакторной оптимизации, в котором ключевые параметры последовательно комбинировались для улучшения формы рукава реглан от NotGood(NG) до Good(G).

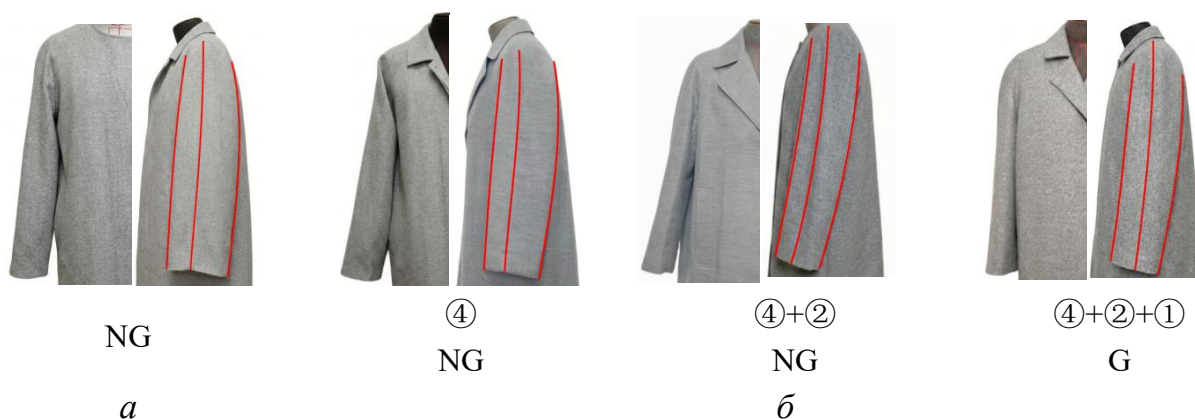


Рисунок 3.14 - Реальный образец пальто после корректировки параметров лекала: а - исходный образец; б - оптимизированный образец.

Результаты подтвердили, что оптимальная форма рукава реглан достигается при корректировке ключевых конструктивных параметров в пределах выявленных диапазонов значений, демонстрируя, что форма рукава реглан может быть эффективно улучшена путем корректировки ключевых конструктивных параметров.

3.3.4. Регрессионная оптимизация для улучшения формы

Регрессионные модели, представленные в данном разделе, были разработаны для осенне-зимней верхней одежды, включая хлопчатобумажные и шерстяные ткани, использованные в реальных и виртуальных экспериментах. В

пределах исследованного диапазона материалов, составляющего приблизительно 300–600 г/м², полученные формы пальто стабильно сохраняли требуемые характеристики наклона вперед и сгибания. Хотя между различными материалами наблюдались незначительные числовые вариации, реакции формы оставались в пределах подтвержденных интервалов хорошей формы. Поэтому материал не был введен в регрессионные уравнения в качестве самостоятельного предиктора, а рассматривался как контролируемое условие применения. Следовательно, полученные модели могут рассматриваться как применимые к данному репрезентативному диапазону материалов для осенне-зимних пальто, а не к одному конкретному материалу.

Разработка регрессионной модели. На основе 23 наборов данных лекал в качестве предикторов были выбраны четыре ключевых параметра лекала: X_4 , X_7 , X_{10} и X_{11} . В качестве зависимых переменных были использованы четыре критерия формы рукава: Y_1 , Y_2 , Y_3 и Y_4 . Для оценки каждого критерия формы были получены простые регрессионные уравнения следующим образом:

$$Y_1 = -8.98 + 0.242X_4 \quad R^2=0.857 \quad (3.1)$$

$$Y_2 = -1.48 + 1.658X_{11} \quad R^2=0.898 \quad (3.2)$$

$$Y_3 = -0.35 + 0.140X_{10} \quad R^2=0.808 \quad (3.3)$$

$$Y_4 = -5.02 + 0.0838X_7 \quad R^2=0.837 \quad (3.4)$$

Эти уравнения дают практические оценки Y_1 – Y_4 на основе выбранных параметров лекала и использовались для направления корректировки параметров к диапазонам хорошей посадки, установленным в предыдущих разделах. Совместно с установленными интервалами хорошей формы и проверенными эффективными диапазонами параметров лекала они сформировали оптимизационную структуру на основе ограничений для проектирования лекала рукава реглан и улучшения его формы.

Проверка регрессионной модели. Для проверки регрессионных моделей были выбраны независимые лекала рукава реглан [10, 23]. Были протестированы как двухшовная, так и трехшовная конструкции рукава. Для каждой конструкции были измерены исходные параметры лекала X_4 , X_7 , X_{10} и X_{11} . Затем параметры были скорректированы с использованием регрессионных уравнений с учётом оптимальных диапазонов значений посадки, установленных в предыдущих разделах.

В таблице 3.15 приведены диапазоны хорошей посадки, а также исходные и модифицированные значения конструктивных параметров для обеих конструкций рукава. В целом регрессионно направленная модификация сместила параметры лекала в сторону проверенных диапазонов хорошей посадки, обеспечив

количественную основу для корректировки параметров.

Таблица 3.15 - Сравнение параметров чертежей до и после модификации

| Параметры лекала | X_4 | X_7 | X_{10} | X_{11} |
|-------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|---------------------|--------------|
| | $\Delta(\angle BSS + \angle FSS)$ | $\Delta(\angle BA + \angle FA)$ | $\Delta(BSW - FSW)$ | Offset (SCL) |
| Интервал | [40°...54°] | [60°...72°] | [2.5...7.5] | [1.5...3.5] |
| Двухшовный рукав | | | | |
| Исходный | 46.7 | 33.6 | 8.3 | 0 |
| Модифициро- ванный | 46.7 | 72 | 2.5 | 2 |
| Трёхшовный рукав | | | | |
| Исходный | 53.9 | 83.6 | 11.4 | 3 |
| Модифициро- ванный | 50 | 72 | 5 | 3 |

Примечание: X_3 (BSS–FSS) не был включён в таблице 3.14 в качестве регрессионного предиктора, но был сохранён как вспомогательное ограничение для распределения целевого X_4 (BSS+FSS) на индивидуальные значения BSS и FSS при реконструкции лекала.

На рисунке 3.15 показаны соответствующие чертежи и результаты 3D-примерки до и после модификации рукавов.





Примечание: исходное лекало — чёрная линия; модифицированное лекало — красная линия.

Рисунок 3.15 - 2D-лекала и 3D-форма до (слева) и после (справа) модификации для двухшовного и трёхшовного рукавов.

Как показано на рисунке 3.15, в исходных лекалах внешний вид рукава демонстрировал очевидные проблемы посадки, включая видимые складки и несбалансированное положение рукава во фронтальном, заднем и профильном видах. После корректировок, выполненных на основе регрессионных уравнений, форма рукава значительно улучшилась: поверхность стала более гладкой, а рукав стал плотнее соответствовать телу.

В таблице 3.16 сравнены прогнозные значения критериев формы (Y_1 – Y_4), рассчитанные по регрессионным уравнениям, с измеренными значениями, полученными по 3D-формам.

Таблица 3.16 - Сравнение исходных и модифицированных 3D-форм на основе регрессионной модели

| Конструкция | № | Способ получения значения | Y_1 | Y_2 | Y_3 | Y_4 |
|------------------|------------------|---------------------------|-------|------------|-----------------|------------|
| | | | FD | FC | $ \Delta(a-b) $ | Folds |
| Двухшовный рукав | Исходный | 3D-измерение | 4.5 | 0.6 | 0.5 | 4 |
| | | Уравнение | 2.3 | -1.5 | 0.8 | -2.2 |
| | Модифицированный | 3D-измерение | 3.0 | 0.5 | 0.6 | 0 |
| | | Уравнение | 2.3 | 1.8 | 0 | 1 |
| | Разница | | | 0.7 | 1.3 | 0.5 |
| Трёхшовный рукав | Исходный | 3D-измерение | 5.4 | 0.8 | 0.2 | 2 |
| | | Уравнение | 4.1 | 3.5 | 1.2 | 2.0 |

| | | | | | | |
|---|------------------|--------------|------------------|----------------|-----------------|-----------------|
| | Модифицированный | 3D-измерение | 3.5 | 3.0 | 0 | 0 |
| | | Уравнение | 3.1 | 3.5 | 0.3 | 1 |
| Разница | | | 0.5 | 0.5 | 0.3 | 1 |
| Диапазон хорошей посадки | | | [0.7,4.1] см | [1,4.3] см | [0, 0.7] см | [0,1] amount |
| <i>Примечание: 1-й шаг: проверить, равно ли Y4 нулю; если да, сравнить Y3, Y2 и Y1. Если нет, оценка завершается.</i> | | | | | | |

Как показано в таблице 3.16, при оценке сначала использовался показатель Y₄ (Folds) как приоритетный критерий. Когда значение Y₄ находится в допустимом диапазоне [0, 1], то складки на поверхности рукава ограничены приемлемым уровнем. После этого дополнительно сравнивали Y₁, Y₂ и Y₃, чтобы определить, соответствуют ли они критериям хорошей посадки. В модифицированных случаях оба типа рукава показали очевидное уменьшение складок, а значения Y₄, измеренные по результатам 3D-виртуальной примерки, снизились до диапазона [0, 1]. Это показывает, что корректировка лекал, выполненная на основе регрессионных уравнений, эффективно улучшила гладкость поверхности рукава.

Дальнейшее сравнение показало, что у двухшовного рукава сохраняются определённые различия в значениях Y. В частности, различия для Y₁ и Y₃ были меньше 1 см, тогда как наибольшее различие наблюдалось по Y₂ и достигало 1,3 см. Это указывает на то, что после корректировки с использованием регрессионных уравнений пространственное взаиморасположение рукава и руки внизу не полностью достигало диапазона хорошей посадки. Трёхшовный рукав после модификации удовлетворял всем критериям хорошей посадки, что указывает на более стабильный эффект его конструктивной корректировки. Этот результат согласуется с анализом различий между рукавами реглан, представленным во второй главе, и дополнительно подтверждает структурную обоснованность и методическое значение выбора трехшовной конструкции рукава в качестве последующего объекта исследования.

Выводы по главе 3

1. Разработан алгоритм метода усовершенствования базового прототипа на основе точной локализации ключевых анатомических ориентиров. Данный метод значительно повысил качество посадки базовой конструкции, обеспечив устойчивую основу для всей последующей разработки рукава реглан.

2. Критические параметры чертежа рукава реглан были реорганизованы для совершенствования методики построения лекал и оптимизации морфологии рукава.

Были выявлены четыре решающие группы параметров, определяющие форму: положение и распределение прибавки по обхвату груди, наклоны плечевых линий, угол между плечевой линией и средней линией рукава, а также смещение средней линии в области низа рукава. Регулирование этих параметров в проверенных угловых и размерных диапазонах при сохранении единой целевой силуэтной формы позволяет получить более стабильное и воспроизводимое улучшение формы рукава реглан.

3. Была разработана параметризованная система управления, связывающая 2D-лекала и 3D-формы. На основе статистического анализа и регрессионного моделирования была установлена взаимосвязь между соответствующими параметрами 2D-лекала и параметрами 3D-формы, влияющими на морфологию рукава реглан. Основанная на этой взаимосвязи параметрическая система проектирования переводит процесс оптимизации лекала от метода проб и ошибок к точному управлению на основе данных, значительно повышая эффективность проектирования лекал и предсказуемость формы.

ГЛАВА 4. ЦИФРОВИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПАЛЬТО РЕГЛАН НА ОСНОВЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

В данной главе предлагается система генерации и оценки системы «фигура + пальто» на основе ИИ. Однако по мере перехода проектной задачи от построения лекал к генерации изображений и межмаршрутному сравнению ограничения, связанные с использованием только двумерного построения лекал и трёхмерной виртуальной примерки, становятся более очевидными. Поэтому цифровизация на основе ИИ рассматривается как дополнительный подход для генерации, сравнения и уточнения изображений в условиях проекционных ограничений.

Целью данной главы является разработка алгоритма генерации и оценки изображений пальто реглан на основе ИИ, объединяющего проекционные параметры, трёхмерные референсные изображения и стратегию мультимодального формирования запросов.

4.1. Общая система цифровизации на основе искусственного интеллекта

На рисунке 4.1 показана общая система цифровизации на основе ИИ для генерации системы «фигура + пальто».

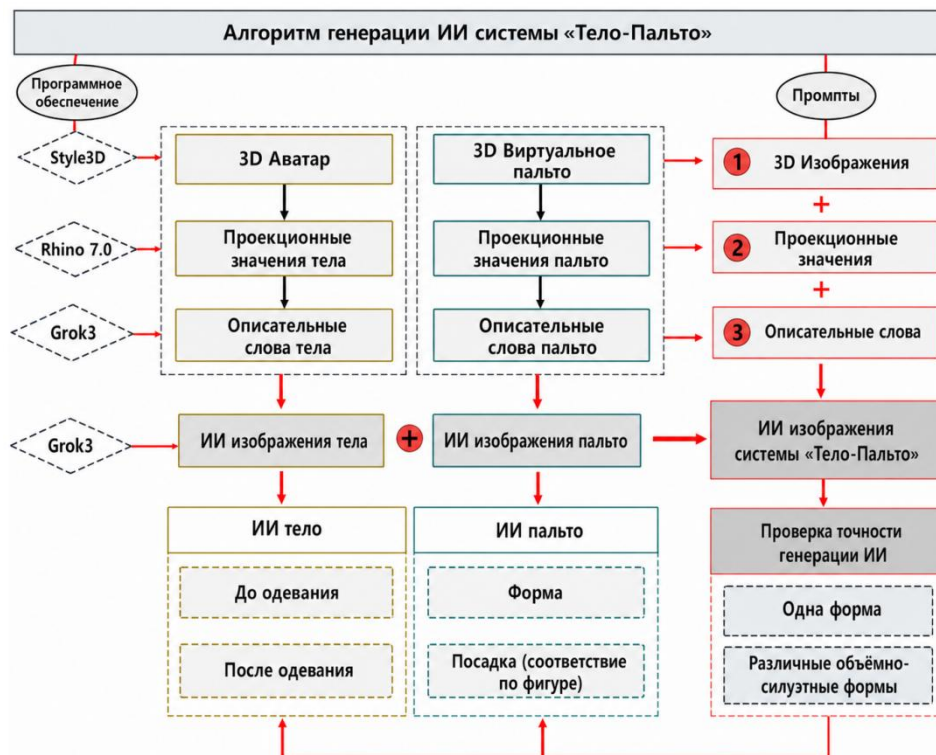


Рисунок 4.1- Алгоритм генерации и проверки системы «фигура - пальто реглан» с применением ИИ

Как показано на рисунке 4.1, система объединяет возможности Style 3D,

Rhino 7.0 и Grok 3, параметризацию проекционных признаков и применение структурированного мультимодального промпта. Промпты для генерации фигур и пальто включают три модуля: трёхмерные референсные изображения, проекционные измерения и описательную текстовую часть.

Рабочий процесс включает три этапа.

1) ИИ-генерация фигуры AIB. Сначала генерируют виртуальный аватар VB в Style 3D на основе ключевых антропометрических размеров и импортируют его в Rhino 7.0 для дополнительных фронтальных и профильных проекционных измерений. Эти проекционные измерения вместе с описанием фигуры и ее трёхмерным референсным изображением используют для написания мультимодального запроса, чтобы сгенерировать AIB в Grok 3.

2) ИИ-генерация пальто AIC. Для той же фигуры VB разрабатывают чертеж пальто реглан и моделируют его в Style 3D для получения виртуального пальто VC. Затем VC переносят в Rhino 7.0 для измерения проекционных параметров пальто на ключевых уровнях обхватов, включая плечевой пояс, грудь, талию, бёдра, пройму, локоть и низ. Эти проекционные значения и трёхмерные изображения пальто вместе с художественно-конструкторским описанием включают в запрос Grok 3 для генерации изображений AIC.

3) Проверка сгенерированной ИИ системы «фигура + пальто». Структурная достоверность AIB оценивают относительно реальной фигуры RB и реального пальто VB. Адекватность AIC анализируют по точности воспроизведения проекционных параметров, качеству посадки и сохранению антропометрических признаков фигуры после ее одевания пальто.

Для обеспечения прямой сопоставимости результатов во всех следующих разделах последовательно применяют объекты, схемы формирования запросов, проекционные параметры и метрики отклонений, установленные в главе 2.

4.2. Генерация и проверка изображений, созданных ИИ

Цель данного раздела - проверка структурной точности изображений. AIB сопоставляют с RB и VB, AIC сопоставляется с реальным пальто RC и виртуальным пальто VC. Спецификацию типовой фигуры TB используют в качестве контрольной базы правил.

4.2.1 Проверка точности генерации AIB

Результаты генерации AIB оценивали по трём аспектам: качество визуальной генерации, стабильность изображения при повторной генерации и стабильность изображения сгенерированного по истечении времени.

Генерация AIB. Сравнительный эксперимент был проведён с использованием ТВ в соответствии с процессом мультимодальной генерации, описанным в разделе 2.3.2. На рисунке 4.2 показаны изображения RB в виде сканатара, VB и AIB, созданные с использованием метода А и метода В при одной и той же спецификации ТВ. Эти представления тела использовались для количественной оценки геометрического соответствия между телами, созданными искусственным интеллектом, и отсканированным референсом при одинаковой позе и одинаковых условиях обзора.



Рисунок 4.2 - Сравнение RB (сканатар), VB и AIB: *а* - реально отсканированная фигура; *б* - 3D-аватар; *в* - фигура, созданная ИИ с использованием метода А; *г* - фигура, созданная ИИ с использованием метода В; *д* - фигура, созданная ИИ после надевания пальто

Стабильность генерации. Перед основной проверкой был проведён дополнительный анализ кумулятивной сходимости на основе 30 последовательно созданных выходных изображений AIB для оценки достаточности объёма выборки при повторной генерации. Результаты показали, что кумулятивные средние значения, рассеяния и отклонения от реального тела заметно изменялись при увеличении от $n = 5$ к $n = 15$, а затем приближались к устойчивому плато, причём для $n = 20...30$ наблюдались только незначительные колебания (таблицы В1–В2, рисунки В1–В2 в ПРИЛОЖЕНИИ В). Эти результаты показали, что точка стабилизации возникает при $n = 15...20$. Поэтому последовательно созданные 20 изображений AIB были приняты в качестве консервативного и достаточного формального объёма выборки.

Для оценки возможности повторной генерации AIB 20 изображений AIB были созданы 14 марта 2025 г. с использованием идентичных мультимодальных запросов по методу В (таблица 2.14). Проекционные отклонения между выбранными AIB и реальным фигурам RB были рассчитаны с использованием уравнения (2.8) и приведены в таблице В.4 ПРИЛОЖЕНИЯ В. В системах

виртуальной примерки отклонение не более 1,0 см обычно рассматривается как допустимый порог инженерной точности [139]. Результаты показали, что Grok 3 обеспечивал отклонения в пределах $\pm 1,0$ см по всем семи проекционным параметрам, при этом большинство отклонений было сосредоточено в пределах $\pm 0,5$ см.

На рисунке 4.3 показаны доли образцов, попадающих в пороговые интервалы отклонений $\leq 1,0$ см и $\leq 0,5$ см для различных областей фигур.

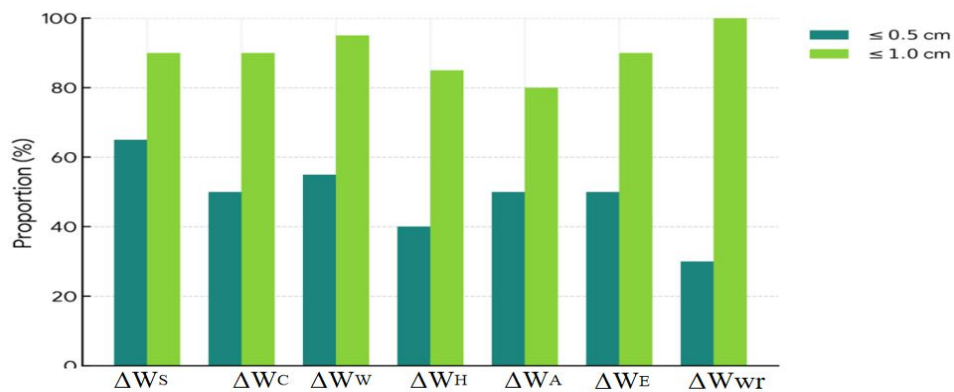


Рисунок 4.3 - Доля образцов AIB, находящихся в пределах пороговых значений проекционных отклонений по параметрам тела: ΔW_s , ΔW_c , ΔW_w , ΔW_h , ΔW_a , ΔW_e и ΔW_{wr} . Здесь $\Delta W_s \dots wr = W_{AIB} - W_{RB}$, где W_s - ширина плеч, W_c - поперечный диаметр груди, W_w - поперечный диаметр талии, W_h - поперечный диаметр бедер, W_a - поперечный диаметр руки на уровне плеча, W_e - поперечный диаметр руки на уровне локтя, W_{wr} - поперечный диаметр запястья.

Как показано на рисунке 4.3, более 90 % образцов для W_s , W_c , W_w , W_e и W_{wr} оставались в диапазоне $\pm 1,0$ см. Кроме того, для W_s , W_c , W_w и W_e более 50 % образцов также находились в пределах $\pm 0,5$ см, что указывает на относительно высокую локальную точность в областях тела, критически важных для баланса и посадки одежды. В большинстве областей тела средние отклонения находились приблизительно в диапазоне $\pm 0,2-0,6$ см и сопровождалась относительно узкими доверительными интервалами, что отражает ограниченную вариативность между повторными генерациями. Хотя W_{wr} показал меньшую долю образцов в пределах интервала $\pm 0,5$ см, он оставался в пределах допустимого порога $\pm 1,0$ см, тем самым сохраняя структурную целостность этой относительно малой анатомической области. Эти результаты подтверждают, что предложенный мультимодальный запрос способен обеспечивать высокоточную генерацию AIB на уровне проекционных измерений и, следовательно, применим для последующей генерации и проверки виртуальной системы «фигура - пальто».

Месяц спустя, 22 апреля 2026 г., были дополнительно созданы 20 изображений AIB с использованием того же мультимодального запроса и тех же настроек генерации. Затем были сопоставлены значения $\text{mean} \pm \text{SD}$ семи проекционных параметров, полученные в две даты. Подробные данные представлены в таблице В.5 ПРИЛОЖЕНИЯ В. средние различия находились в диапазоне от 0,02 до 0,30 см, а среднее абсолютное различие по семи параметрам составило 0,16 см. Для шести из семи параметров средняя разница не превышала 0,24 см, что указывает на хорошую временную стабильность на уровне проекционных измерений. W_A показал наибольшее смещение (0,30 см), что свидетельствует о сравнительно более высокой чувствительности данного параметра к межвременной вариации генерации по сравнению с другими параметрами ширины тела. Однако даже это различие оставалось значительно ниже инженерного порога допуска 1,0 см.

В совокупности эти результаты показывают, что фиксированный мультимодальный запрос обеспечивал стабильность антропометрических измерений в разные даты генерации. Следовательно, данный запрос можно рассматривать как стабильный при межвременной генерации для измерительно-ориентированной генерации AIB и пригодный для последующего сравнительного анализа в данном исследовании.

Проверка точности генерации AIB. Двадцать шесть ключевых проекционных параметров тела были разделены на четыре группы (таблица В.6, ПРИЛОЖЕНИЕ В): высоты ($H, H_S, H_C, H_U, H_W, H_H, H_F, H_B$), фронтальные ширины ($W_S, W_C, W_W, W_H, W_A, W_E, W_{Wf}$), профильные ширины ($D_C, D_W, D_H, D_A, D_E, D_{Wf}$) и угловые параметры ($\angle E, \angle 1$ и $\angle 3$). Отклонения рассчитывали между сканатаром реальной фигуры RB и тремя сравниваемыми моделями: аватаром VB, результатами ИИ генерации AIB (метод A) и AIB (метод B) с использованием уравнений (2.9), (2.10) и (2.11). Для каждой группы рассчитывали MD: MD_H для высотных параметров, MD_W для фронтальных ширин, MD_D для профильных ширин и MD_A для угловых параметров.

Сравнительный анализ показал, что AIB_B продемонстрировала наилучшую общую точность среди трёх сравниваемых моделей. Группы MD_H и MD_A имели наименьшие отклонения ($-0,6 \pm 0,9$ см; $0,7 \pm 4,5^\circ$), тогда как AIB_A показала более выраженное занижение, достигающее $-1,5$ см. AIB_B также продемонстрировала стабильные результаты по MD_W и MD_D , тогда как AIB_A характеризовалась более выраженным смещением и вариативностью. Несмотря на более высокие общие ошибки в угловых параметрах, AIB_B сохраняла наиболее узкий диапазон отклонений, что указывает на то, что включение трёхмерных референсных изображений улучшает результаты генерации, особенно угловых признаков,

связанных с положением руки. На рисунке 4.4 представлены диаграммы, сравнивающие проекционные отклонения по всем 26 параметрам (высоты, поперечные и передне-задние диаметры и углы).

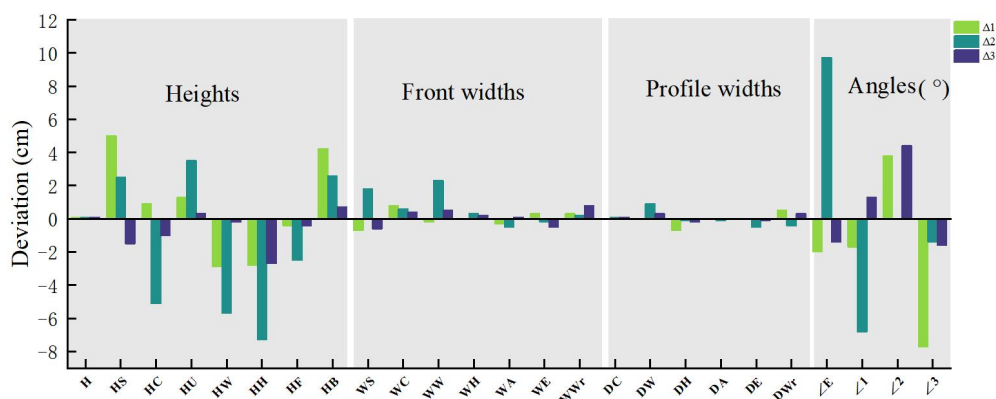


Рисунок 4.4 - Сравнение отклонений проекционных измерений между RB, VB, AIB_A и AIB_B

Как показано на рисунке 4.4, метод В (обозначен как Δ3) последовательно обеспечивает меньшие проекционные отклонения, чем метод А (обозначен как Δ2), для большинства измерений. Для высотных параметров (H–H_B) метод В гарантирует точность в пределах ±1,0 см, а ключевые фронтальные и профильные диаметры (D_C, D_W) и угловые параметры спины (∠1, ∠3) находились в пределах ±0,5 см и ±1,5° соответственно. Напротив, метод А показал более значительные отклонения и нестабильность, особенно для параметров W_E, D_E и ∠S, что указывает на недостаточность одних только текстовых и проекционных измерений.

В целом результаты показывают, что генерация AIB повторно осуществима и стабильна при межвременной генерации. Среди протестированных маршрутов изображение AIB_B наилучшим образом соответствует RB и VB, Поэтому метод В был принят в качестве базовой конфигурации для последующих экспериментов по генерации AIC и проверке системы «фигура — пальто», при этом AIB_B использовалась как проверенная базовая модель тела, созданного искусственным интеллектом.

4.2.2. Генерация и проверка системы «пальто + фигура»

Система «фигура + пальто» была сгенерирована на основе проверенной базовой модели AIB_B и стандартизированных настроек формирования запросов по методу В. Полученные выходные изображения AIC оценивали относительно референсов RC и VC с критериев, установленных в главе 2. Кроме того,

стабильность морфологии фигуры до и после одевания пальто проверяли путём сравнения проекционных размеров.

Генерация АИС. С использованием метода В виртуальное пальто VC, сгенерированное в Style3D на основе стандартного аватара VB, использовали как трёхмерное референсное изображение в Grok 3 для генерации АИС. Вид спереди генерировали с использованием запросов 5 и 6 на этапах 1 и 2, а профильный вид генерировали с использованием запросов 7 и 8 на этапах 3 и 4. Для проверки структурной точности АИС было проведён его сравнение с реальным пальто RC с идентичными размерными характеристиками. Высокоточную АИВ_В, сгенерированную на предыдущем этапе, использовали в качестве основы для генерации АИС (см. рисунок 2.6). На рисунке 4.5 показаны системы «фигура + пальто» АИС, VC и RC.



Рисунок 4.5 - Системы «фигура + пальто»: *а* - VC, смоделированное в Style3D; *б* - АИС, созданное ИИ; *в* - RC, реальное пальто

Как показано на рисунке 4.5, VC, АИС и RC сравнивали на фронтальном и профильном видах. АИС демонстрирует визуальное соответствие RC, особенно по длине, форме рукава, конструкции воротника и общему силуэту. Кроме того, по сравнению с RC, АИС имеет более гладкую поверхность. Ключевые структурные признаки, такие как контуры плечевой области и рукава визуальны согласованы с RC.

Проверка АИС по проекционным параметрам и критериям посадки. Для оценки адекватности были измерены и проанализированы детальные проекционные параметры АИС с использованием уравнений (2.14) и (2.15). Проекционные отклонения АИС и VC относительно RC как референса подробно представлены в таблице В.7 ПРИЛОЖЕНИЯ В.

19 ключевых проекционных параметров пальто были разделены на три категории: фронтальные ширины ($W'_C, W'_W, W'_H, W'_A, W'_E, W'_{wr}, W'_S$), профильные

ширины (D'_C , D'_W , D'_H , D'_A , D'_E , D'_{Wr}) и углы ($\angle S'$, $\angle A$). Между АИС и ВС наблюдались как локальные, так и общие структурные отклонения. Различия по фронтальной ширине были незначительными: MD'_W составило $-0,7$ см для ВС и $-0,4$ см для АИС, что указывает на сходный уровень точности. Однако профильные ширины ВС показали большое отклонение ($-4,6 \pm 1,0$ см), в случае АИС это отклонение снижается до $-1,0 \pm 1,1$ см, демонстрируя более высокое соответствие боковой форме. Угловые параметры выявили ещё более выраженные различия: ВС показало значительную нестабильность ($-3,7 \pm 15,2^\circ$), а АИС сохраняло значительно более узкий диапазон отклонений ($-0,9 \pm 3,2^\circ$).

На рисунке 4.6 представлены диаграммы, сравнивающие ошибки генерации АИС и ВС относительно РС по всем 19 параметрам.

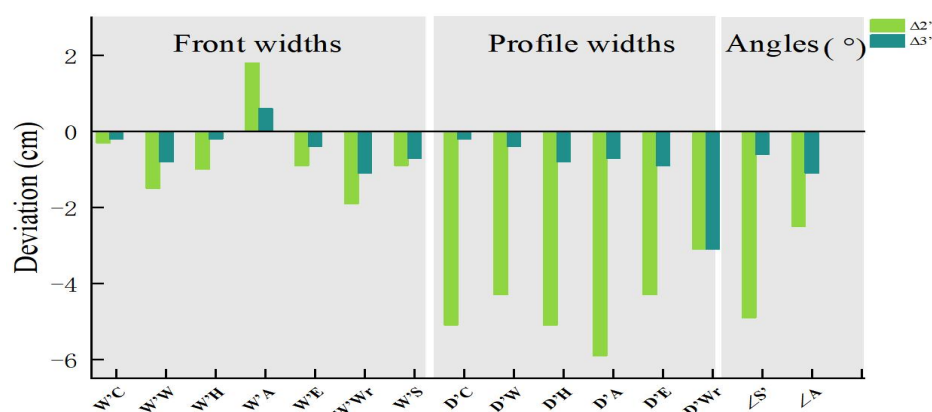


Рисунок 4.6 - Сравнение проекционных отклонений ВС и АИС от реального пальто RC: а - фронтальные ширины; б - профильные ширины; в - угловые параметры

Как показано на рисунке 4.6, АИС имеет меньшие проекционные отклонения, чем ВС, особенно для профильных ширин и угловых параметров. Для ключевых фронтальных параметров W'_C , W'_{wi} и W'_S , отклонения для АИС оставались в пределах 1,0 см, а для ВС превышали 1,5 см. Угловые параметры ($\angle S'$, $\angle A$) также показали меньшие отклонения в АИС ($\leq 1,1^\circ$). Наибольшие различия наблюдались в боковых параметрах: отклонения АИС для D'_C и D'_H находились в диапазоне от 0,2 до 0,8 см, тогда как соответствующие отклонения ВС достигали 5,1 см. Эти результаты показывают, что в условиях протестированной репрезентативной конфигурации мультимодальный маршрут ИИ-генерации достиг более близкого соответствия с РС на уровне проекционных параметров, чем маршрут 3D-моделирования, основанный на лекалах.

Помимо геометрических отклонений, качество посадки пальто реглан дополнительно оценивали с использованием семи критериев посадки, принятых в

предыдущих исследованиях. В таблице 4.2 представлены результаты проверки по этим критериям путём сравнения AIC с RC и VC.

Таблица 4.1 - Проверка посадки пальто AIC в системе «фигура - пальто»

| Критерии посадки | Размерные характеристики пальто | | | Различия относительно RC | | Интервал | I или O |
|-------------------------------|---------------------------------|-----|-----|--------------------------|------------|-----------|---------|
| | RC | VC | AIC | VC | AIC | | |
| | | | | $\Delta 6$ | $\Delta 7$ | | |
| $(d_F + d_B)/2$, см | 1.2 | 2.5 | 3 | 1.3 | 1.8 | 0... 2 | O |
| $(\angle F + \angle B)/2$, ° | 91 | 89 | 92 | 2 | 2 | 88...92 | I |
| c | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | O |
| FC, см | 3.3 | 2.0 | 3.8 | 1.3 | 0.5 | 0.7...4.1 | I |
| PC, см | 3 | 1.8 | 2.2 | 1.2 | 0.8 | 1...4.3 | I |
| a-b | 0 | 0 | 0.7 | 0 | 0.7 | 0, 0.7 | I |
| Folds | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0, 1 | I |

Примечание: I- значение находится в допустимом интервале; O- значение находится за пределами допустимого интервала. Статус I/O определяли по значению AIC.

Из таблицы 4.1 видны следующие основные результаты.

1) По показателям баланса стана AIC незначительно превысило верхний предел допуска для $(d_F + d_B)/2$ (3,0 см > 2,0 см), что указывает на отклонение передне-заднего баланса. Однако показатель $(\angle F + \angle B)/2$ находится в интервале [88, 92°].

2) Для рукава балансовые значения FC и PC находятся в соответствующих интервалах ([0,7...4,1 см] и [1,0...4,3 см]), что указывает на приемлемое пространственное соответствие между рукавом и фигурам.

3) Для соосности рукава и руки значение $|a - b| = 0,7$ см приблизилось к верхней границе интервала, но всё ещё указывает на приемлемое соответствие естественному положению руки.

4) Количество складок у AIC равной одной по сравнению с их отсутствием у RC и VC. Это небольшое увеличение указывает на незначительные структурные нерегулярности, вероятно связанные с чувствительностью AI к сложным зонам пальто, однако, появление одной складки не повлияло на общее качество посадки.

В целом AIC удовлетворяло большинству предварительно заданных критериев посадки, хотя локальные отклонения сохранялись в балансе корпуса и образовании складок. Поэтому сгенерированный образец следует интерпретировать как в основном приемлемый результат AIC с незначительными

локальными дефектами посадки, а не как полностью бездефектный результат. Это различие важно, поскольку в последующем разделе, посвящённом диагностике дефектов посадки и уточнению с помощью ИИ, дополнительно рассматривается, как такие локальные несовершенства могут быть выявлены и исправлены.

Проверка структурной точности и стабильности АІВ. Для проверки сохранности морфологии фигуры после одевания пальто, Grok 3 был использован для регенерации АІВс из системы "фигура + пальто" после удаления пальто. Обе фигуры - исходная и извлеченная - сравнивали между собой, в частности, АІВс сравнивали с RB и АІВв с использованием уравнений (2.11), (2.12) и (2.13).

Значения MD для $\Delta 3$ (RB–АІВв), $\Delta 4$ (RB–АІВс) и $\Delta 5$ (АІВв–АІВс) были сгруппированы по высотам, фронтальным и профильным ширинам, угловым параметрам (результаты приведены в таблице В.8 ПРИЛОЖЕНИЯ В).

Значения MD указывают на хорошую структурную стабильность и согласованность между исходной фигурой АІВв до одевания пальто и АІВс после снятия пальто: одевание пальто лишь ограниченно изменило общую геометрическую структуру фигуры. Были отмечены лишь небольшие увеличения угловых отклонений в плечевой и спинной областях. Несмотря на эти локальные изменения, АІВс сохраняла высокий уровень анатомической согласованности и геометрической стабильности, обеспечивая надёжную основу для оценки посадки и моделирования пальто.

Морфологическая стабильность АІВс была проанализирована путём визуализации тенденций отклонений. На рисунке 4.7 показаны тенденции отклонений для $\Delta 3$, $\Delta 4$ и $\Delta 5$, сгруппированные по высотным параметрам, фронтальным ширинам, профильным ширинам и угловым параметрам.

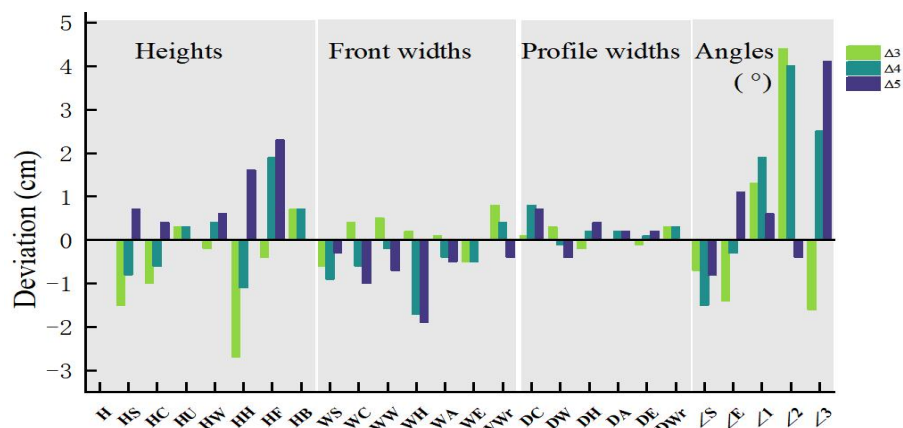


Рисунок 4.7 - Тенденции проекционных отклонений АІВс относительно RB и АІВв для высот, фронтальных и профильных ширин, угловых параметров $\Delta 3$ (RB–АІВв), $\Delta 4$ (RB - АІВс) и $\Delta 5$ (АІВв-АІВс)

Как показано на рисунке 4.7, $\Delta 3$ отражает различие между RB и АІВв и

показывает умеренные отклонения по ключевым размерным параметрам. Для $\Delta 4$ существует тенденция, сходной с $\Delta 3$, что указывает на адекватность AIVc реальной фигуре. Следует отметить, что $\Delta 5$ оставалась наименьшей почти по всем параметрам, подтверждая, что процессы одевания и снятия пальто оказывали минимальное влияние на морфологию AIV. Эти результаты подтверждают, что предложенная мультимодальная система генерации «фигура + пальто» на основе Grok 3 обеспечивает высокую анатомическую согласованность.

Таким образом, проверка репрезентативной системы «фигура + пальто» показала, что метод В позволяет генерировать AIC с хорошим соответствием RC и VC и сохранять подобие фигур.

4.3. Проверка способности ИИ генерировать объёмно-силуэтные формы из разных тканей

Для проверки применимости разработанной схемы в настоящем разделе задача генерации расширена до четырёх категорий объёмно-силуэтной формы и трех тканей. Таким образом, в данном разделе схема В оценена по четырём аспектам: генерация требуемой объёмно-силуэтной формы, адекватность генерации, соответствие критериям формы пальто C_C и устойчивость к дескрипторам категорий материалов.

4.3.1. Генерация ИИ-пальто с различными объёмно-силуэтными формами

Изменяли величину прибавки по обхвату груди и соответствующие параметры объёмно-силуэтной формы. Точность полученных результатов оценивали с использованием критериев формы пальто реглан C_C из главы 2.

Рисунок 4.8 показывает AICs, соответствующие четырём объёмно-силуэтным формам со средними величинами прибавки по обхвату груди 12, 16, 20 и 28 см соответственно. На рисунке представлены фронтальные виды (S1-F...S4-F) и профильные виды (S1-P...S4-P) четырёх силуэтных категорий: S1 Fit, S2 Semi-fit, S3 Semi-loose и S4 Loose.



Рисунок 4.8 - AIC четырёх различных объёмно-силуэтных форм

Как показано на рисунке 4.8, сгенерированные AICs демонстрируют чёткую визуальную прогрессию от прилегающего силуэта к свободному силуэту: общая ширина пальто, боковой контур и объём пальто постепенно увеличиваются. Эти результаты демонстрируют визуальную реализуемость генерации AIC с различными параметрами объёмно-силуэтной формы. Подробные результаты измерения параметров всех четырех пальто приведены на рисунке В.3 в ПРИЛОЖЕНИИ В.

Результаты показали плавное монотонное увеличение обоих дескрипторов от S1 до S4, при этом все значения оставались в пределах заранее установленных интервалов соответствующих целевых силуэтных групп. Это указывает на то, что во время генерации точно воспроизведена градация объёмов пальто.

Во-вторых, был проведён сравнительный анализ адекватности форм различных AIC. Анализ включал два источника данных: (1) изображения $VC_{S1...S4}$, сгенерированные в Style3D, (2) изображения $AIC_{S1...S4}$, сгенерированные в Grok 3. Рассчитывали отклонения между ними $\Delta_{S1...S4} = AIC_{S1...S4} - VC_{S1...S4}$. Агрегированные результаты MD были сгруппированы по MD_W , MD_D и MD_A , а все результаты приведены в таблице В.9 ПРИЛОЖЕНИЯ В.

Результаты показывали, что проекционные отклонения были допустимыми для всех четырёх форм пальто. В целом S3 показал наименьшее общее отклонение, что свидетельствует о наиболее стабильной работе ИИ с формой среднего объёма. Напротив, S1 и S4 показали относительно более высокие отклонения, что указывает на то, что очень прилегающие или сильно объёмные силуэты могут вызывать большую проекционную вариативность. На рисунке 4.9 показано отклонения между $AIC_{S1...S4}$ и $VC_{S1...S4}$.

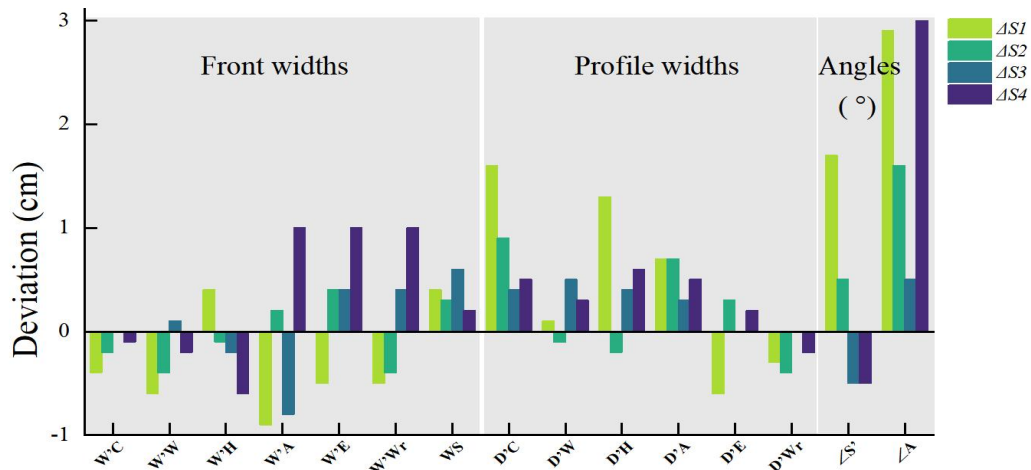


Рисунок 4.9 - Сравнение отклонений между АИС и ВС для четырёх форм ($\Delta S1... \Delta S4$)

Рисунок 4.9 демонстрируют структурную точность предложенной ИИ-системы генерации. Стабильная точность, наблюдаемая во всех силуэтных формах, подтверждает способность данного метода создавать структурно достоверные и геометрически согласованные изображения пальто реглан при различных стиливых условиях.

В таблице 4.2 приведены результаты оценки посадки с применением семи установленных критериев.

Таблица 4.2 - Результаты оценки посадки для различных объёмно-силуэтных форм

| Критерии посадки | S1 | S2 | S3 | S4 |
|---------------------------|-----|-----|------|-----|
| $(d_F + d_B)/2$ | 2.8 | 2.1 | 3 | 2 |
| $(\angle F + \angle B)/2$ | 94 | 92 | 90.5 | 93 |
| c | 0 | 0 | 0 | 0 |
| FC | 2 | 2.6 | 2.4 | 4.7 |
| PC | 2.1 | 1.8 | 2.0 | 3 |
| $ a-b $ | 0.5 | 0.3 | 0.6 | 0 |
| Folds | 1 | 1 | 1 | 1 |

Примечание: ячейки, выделенные серым цветом, обозначают значения, находящиеся в пределах предварительно заданных допустимых интервалов.

Как показано в таблице 4.2, 18 ячеек, выделенных серым цветом, обозначают значения, находящиеся в пределах предварительно заданных интервалов, что составляет 64,3%. Остальные 10 показателей имели ограниченные отклонения от целевых критериев: отклонения линейных показателей не

превышали 1,0 см, угловые отклонения оставались в пределах 2°, присутствовала одна видимая складка. Большинство отклонений наблюдалось для формы S4.

Таким образом, генерация АИС с различными объемно-силуэтными формами подтверждает способность ИИ уверенно генерировать объекты с наборами разных количественных параметров.

4.3.2. Влияние вида ткани на AI-сгенерированные силуэты пальто

В этом разделе использованы три вида осенне-зимних тканей. На рисунке 4.10 представлены пальто реглан из трех тканей при прибавке по линии груди 16 см.

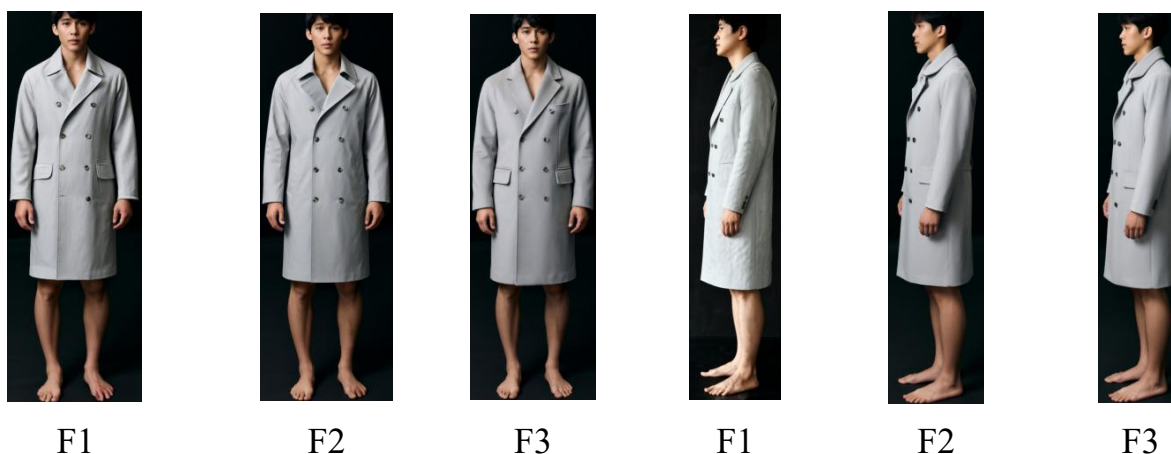


Рисунок 4.10 - AI-сгенерированные пальто из трех тканей F1, F2, F3 при прибавке по линии груди 16 см

Как показано на рисунке 4.10 и рисунке В.4 ПРИЛОЖЕНИЯ В, среди трёх материалов шерстяная ткань F3 в целом обеспечивает более чёткий контур, тогда как хлопковая ткань F1 имеет тенденцию к более мягким переходам в областях рукава и корпуса. Образцы из полиэстера F2 выглядят более гладкими и однородными. Эти наблюдения показывают, что волокнистый состав ткани сильнее влияет на визуальное впечатление, чем на общую силуэтную тенденцию, определяемую прибавкой по линии груди.

Различия между тканями обобщены в таблицах В.10–В.11 ПРИЛОЖЕНИЯ В. В целом фронтальные ширины оставались относительно стабильными. Напротив, профильные ширины демонстрировали более выраженные колебания, что свидетельствует о большей чувствительности бокового контура к визуальному проявлению драпировки, связанному с тканью. Наибольшие изменения наблюдались в угловых параметрах.

В целом межтканевое сравнение показывает, что изменение категории ткани

действительно приводит к измеримым сдвигам для проекционных параметров; однако эти сдвиги в основном концентрировались в локальных областях, а не в общей структуре силуэта. Важно, что различия между тканями в целом были меньше, чем структурная прогрессия, вызванная увеличением прибавки по линии груди. Следовательно, вариацию ткани следует интерпретировать как фактор, влияющий на локальную реакцию контура и визуальное выражение, а не как доминирующий фактор, переопределяющий общую объёмно-силуэтную тенденцию.

Хотя различия между типами тканей наблюдались для нескольких параметров, необходимо определить, были ли эти различия существенными для разработанной группировки объёмно-силуэтным форм. Поэтому применимость установленных интервалов при изменении типа ткани была оценена по изменению дескрипторов d_{12} и d_{13} , которые были рассчитаны для трёх выбранных типов тканей и четырёх заранее заданных уровней прибавки по линии груди. На рисунке 4.11 показаны кривые d_{12} и d_{13} для AI-сгенерированных пальто реглан из хлопка, полиэстера и шерсти. Подробные значения приведены в таблице В.12 ПРИЛОЖЕНИЯ В.

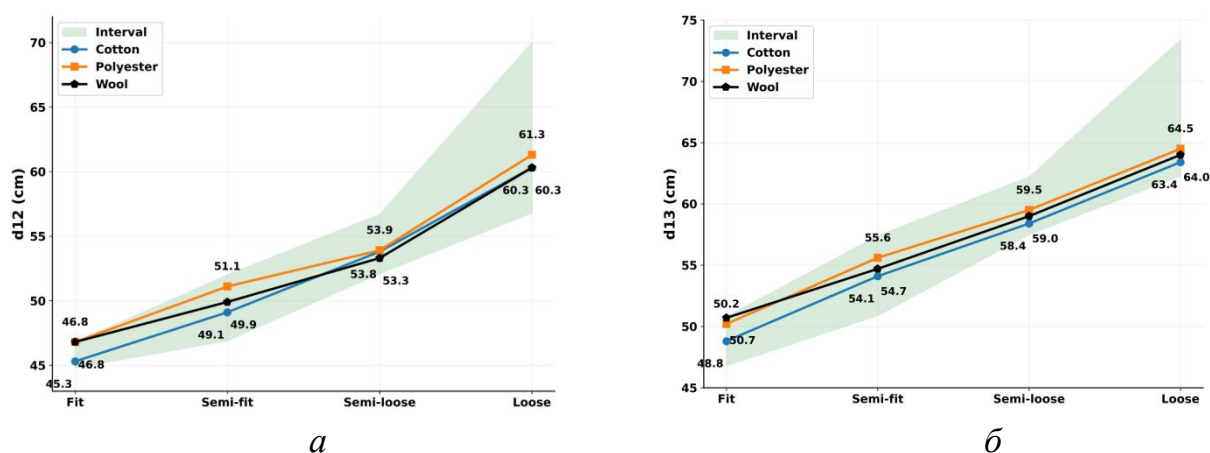


Рисунок 4.11- Проверка устойчивости объёмно-силуэтной группировки AI-сгенерированных пальто реглан из трёх типов тканей по комплексным проекционным дескрипторам d_{12} и d_{13} при четырёх уровнях прибавки по линии груди: *а* - d_{12} , характеризующий ширину силуэта в области груди и проймы; *б* - d_{13} , характеризующий ширину силуэта в области талии и локтя. Линии показывают значения дескрипторов для хлопчатобумажной, полиэстеровой и шерстяной тканей, а зелёная заштрихованная область обозначает заранее заданные интервальные диапазоны соответствующих объёмно-силуэтных категорий Fit, Semi-fit, Semi-loose и Loose.

Как показано на рисунке 4.11, для всех трёх типов тканей d_{12} и d_{13}

монотонно увеличиваются от S1 до S4, что указывает на стабильную и последовательную динамику объёмно-силуэтной реакции при увеличении прибавки по линии груди. Этот результат свидетельствует о том, что в пределах выбранных типов тканей AI-сгенерированные силуэты сохраняют заданные пропорции. Это указывает на то, что различия между типами тканей существуют, но не изменяют результат силуэтной группировки.

4.4. Сравнение результатов 3D-симуляции и AI-генерации

В данном разделе сравниваются RC, VC и AIC для проверки структурных отклонений, соответствия критериям посадки и объёмно-силуэтной форме. Для сравнения были выбраны четыре пальто реглан S1–S4 с прибавки по линии груди 12, 16, 20 и 28 см соответственно. Изображения пальто были сгенерированы в Grok 3 с использованием мультимодального запроса В. 3D изображения были сгенерированы в Style3D.

На рисунке 4.12 представлены изображения RC, AIC и VC во фронтальном и профильном видах для S1–S4.



a



б



в

Рисунок 4.12 - Изображения RC, AIC и VC: S1–S4 соответствуют прибавке по линии груди $E(CG) = 12, 16, 20$ и 28 см; а - RC; б - AIC; в - VC

Как показано на рисунке 4.12, при увеличении прибавки по линии груди общая ширина пальто увеличивается для всех способов получения изображений. На основе данного качественного наблюдения была проведена строгая параметрическая оценка.

Для обобщения величины отклонения независимо от его направления была рассчитана средняя абсолютная относительная ошибка MARE по уравнению (2.6). Для повышения интерпретируемости проекционные параметры были разделены на подмножества: фронтальная часть корпуса, боковая часть корпуса, фронтальная часть рукава и боковая часть рукава. Угловые параметры рассматривали как отдельную группу. Таблица 4.3 показывает параметры для всех выделенных групп. Подробные данные представлены в таблице В.13 ПРИЛОЖЕНИЯ В.

Таблица 4.3 - Агрегированная MARE (%) для AIC и VC

| Уровень оценки | Группа | Структурный охват | Параметры | MARE, % | |
|-----------------------------------|---------------------------|--|--------------------------|---------|------|
| | | | | AIC | VC |
| Подмножество регионального уровня | Фронтальная часть корпуса | Фронтальный контур "плечо–грудь–талия–бёдра" | W'_s, W'_c, W'_w, W'_h | 1,6 | 4,7 |
| | Боковая часть корпуса | Профильный контур "грудь–талия–бёдра" | D'_c, D'_w, D'_h | 2,4 | 2,4 |
| | Фронтальная часть рукава | Фронтальный контур "пройма–локоть–низ" | W'_a, W'_e, W'_{wr} | 3,9 | 12,1 |
| | Боковая | Профильный контур | D'_a, D'_e | 2,8 | 9,2 |

| | часть рукава | "пройма–локоть–низ" | D'_{wr} | | |
|-----------------------|--------------------|--|---|-----|------|
| Агрегат уровня вида | Фронтальная ширина | Полный фронтальный контур стана и рукав | $W'_s, W'_c, W'_w, W'_h, W'_a, W'_e, W'_{wr}$ | 2,6 | 7,9 |
| | Профильная ширина | Полный профильный контур стана и рукава | $D'_c, D'_w, D'_h, D'_a, D'_e, D'_{wr}$ | 2,6 | 5,8 |
| Дополнительная группа | Угол | Плечевой угол и угол между плечевым поясом и рукавом | $\angle S', \angle A$ | 3,4 | 12,3 |
| Общий уровень | Итого | Все проекционные параметры | Все параметры | 2,8 | 7 |

Рисунок 4.13 показывает групповое сравнение MAPE между AIC и VC на основе иерархических групп параметров из таблицы 4.5 и предоставляет прямое визуальное резюме межметодных различий.

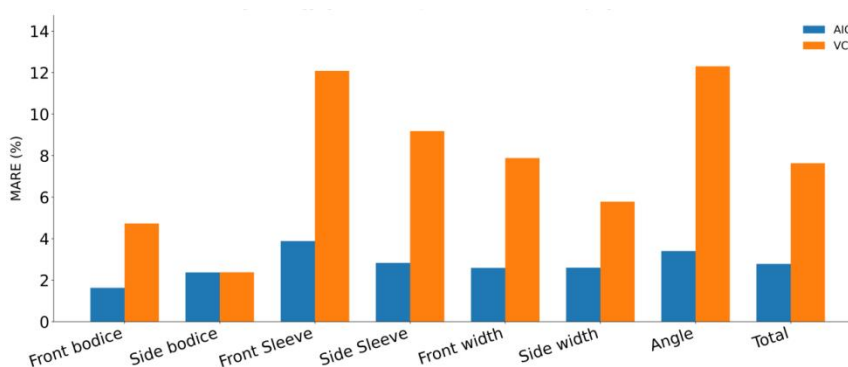


Рисунок 4.13 - MAPE для иерархических групп AIC и VC

Как показано на рисунке 4.14, AIC демонстрировал более низкие агрегированные значения MAPE, чем VC, для всех групп параметров.

В совокупности рисунок 4.13, таблица 4.3 и рисунок 4.14 подтвердили основное расхождение между AIC и VC в пользу AIC.

В таблице 4.4 показаны основные различия между VC и AIC.

Таблица 4.4 - Сравнительная интерпретация VC и AIC

| Аспект | VC (3D-виртуальная примерка) | AIC (AI-генерация) |
|----------------------------------|--|--|
| Основная концентрация отклонений | Параметры, связанные с рукавом: контурные области, определяемые плечом и проймой | Более низкие общие проекционные отклонения; остаточная вариативность складок, текстур и локальных деталей контура |
| Вероятные влияющие факторы | Локальное несоответствие аватара и реального тела; распределение воздушного зазора; эффекты ткани, решателя, коллизий и обработки швов | Сила мультимодальных ограничений; отсутствие явных априорных данных о лекалах и сборке изделия |
| Преимущество | Структурная прослеживаемость и интерпретируемость от лекала к симуляции и контуру | Точность силуэта на уровне проекционных параметров в контролируемых условиях |
| Ограничение | Чувствительность к настройкам симуляции и физической параметризации | Меньшая стабильность высокочастотных деталей внешнего вида, особенно складок, текстур и локальных вариаций поверхности |

В целом VC и AIC продемонстрировали взаимодополняющие характеристики. VC был основан на лекалах и симуляции, что делало его более управляемым, воспроизводимым и структурно интерпретируемым, однако его параметры рукава были более чувствительны к настройкам симуляции и физической параметризации. AIC показал более близкое соответствие RC в 2,5D-проекционных измерениях, однако внешний вид складок и другие локальные детали поверхности были менее стабильны. Эти результаты проясняют различные роли VC и AIC в цифровизации на уровне изображений и создают основу для взаимодополняющего 3D+AIworkflow.

Таблица 4.5 показывает позиционирование VC, AIC и алгоритма оценки в рамках взаимодополняющего 3D+ИИ цифрового процесса.

Таблица 4.5 - Структура 3D+ИИ процесса цифровизации

| Модуль | VC (3D-виртуальная примерка) | AIC (AI-генерация) | Алгоритм оценки |
|-------------------------------|---|--|--|
| Основная роль | Структурный ориентир на основе лекал и симуляции | Повышает согласование силуэта на уровне проекционных параметров | Обеспечивает одинаковые измерения и сравнение между RC/VC/AIC |
| Ключевые входные данные | Базовая модель тела + лекало + настройки ткани/симуляции | Запрос + 2,5D-проекционные параметры + 3D-референсные изображения + контролируемые поза/ракурс/освещение/фон | Те же 2,5D-параметры + RE/MARE |
| Основной результат | Интерпретируема я структура и физически правдоподобная драпировка | Точность силуэта на уровне изображения относительно RC | Количественный benchmarking между RC/VC/AIC |
| Лучшее применение | Разработка лекал, структурная проверка, воспроизводимая симуляция | Снижение расхождения между виртуальным и реальным результатом; быстрая корректировка на уровне изображения | Локализация ошибок, сравнение методов, межсилуэтная оценка |

4.5. Идентификация и устранение дефектов посадки

В данном разделе выполнена проверка возможности ИИ генерировать дефекты посадки и исследована возможность их устранения посредством итеративной доработки на основе промптов.

При проверке AIC было выявлено, не все заранее заданные критерии посадки выполнены, а основные отклонения были в балансе стана и появлении складок. Идентификация дефектов относится к диагностическому процессу, основанному на разработанных критериях.

Чтобы результаты идентификации дефектов можно было использовать при последующей доработке промптов, для выбранного изображения пальто AIC была выполнена разметка обнаруженных дефектов. В таблице 4.6 представлены основные дефекты, диагностическая схема и соответствующие направления корректировки промптов для их недопущения при последующих генерациях.

Таблица 4.6 - Визуальная диагностика AI-сгенерированных дефектов посадки и направления корректировки промптов

| Название дефекта | Изображение дефекта | Диагностическая основа | Направление корректировки промпта |
|-------------------------------|---|--|--|
| Дефект баланса корпуса |  | Центральная линия переда неровная и не вертикальная, а линия низа отклоняется от горизонтальной линии, что указывает на ошибочный передне-задний баланс стана (дефект «длинная спинка»). | Подчеркнуть прямую, стабильную и вертикально линию края борта переда; сохранить чистый и сбалансированный фронтальный контур; избегать неровности края борта переда и отклонения линии низа от горизонтали |
| Дефект баланса рукава и стана |  | Расстояние между передним сгибом рукава внизу и рукой недостаточно, а пространственное положение рукава относительно стана несогласованно, что указывает на отклонения в положении низа рукава, направлении средней линии рукава или согласовании рукава и руки. | Умеренно увеличить расстояние между передним сгибом рукава и рукой внизу; улучшить пространственное положение рукава и руки; сохранить общее согласование между рукавом и станом |
| Складки около проймы |  | На поверхности корпуса, рукава или спинки появляются видимые складки и локальные колебания контура, что указывает на проблемы в конструировании. | Уменьшить локальные складки; сгладить поверхности стана, рукава и спинки; стабилизировать локальный контур |

В таблице 4.6 чёрные пунктирные линии обозначают референсные линии хорошей формы, а красные сплошные линии обозначают дефектные контурные линии, наблюдаемые в исходном образце АИС. Отклонение между ними предоставляет визуальную основу для описания локальных дефектов.

Общая структура промптов, использованная для итеративной доработки и устранения дефектов, представлена в таблице В.14 ПРИЛОЖЕНИЯ В.

В соответствии с тремя типами дефектов, выявленными в таблице 4.8, доработка была выполнена в четыре действия. На рисунке 4.14 показаны исходный дефектный образец и результаты итеративной доработки при различных стратегиях.



Рисунок 4.14 - Исходный дефектный образец и результаты его итеративной доработки для устранения дефектов: Original; ① регуляризация центральной линии переда; ②+③ уточнение средней линии рукава и уменьшение складок; ②+④ уточнение линии рукава и корректировка пространственного соотношения манжеты и руки; ②+③+④ интегрированная доработка.

Как показано на рисунке 4.14, выбранная стратегия изменения промптов улучшает внешний вид пальто (слева направо): последовательно восстановлена вертикальность края борта (Рисунок 4.14, *a*), устранены видимые складки на поверхности стана и рукава с улучшением структуры рукава (Рисунок 4.14, *б*), улучшено положение рукава на профильном виде и пространственного соотношения низа рукава и руки (Рисунок 4.14, *в*). Интегрированная доработка (Рисунок 4.14, *г*) показала общий эффект, выраженный в более чёткой тенденции линии рукава к наклону вперёд, более естественном переходе в области локтя, уменьшении локальных складок и хорошей посадке рукава в профильном виде.

В таблице 4.7 представлены изменения показателей.

Таблица 4.7 - Проверка до и после дефект-ориентированной коррекции выбранного образца АИС

| Показатель | Значение показателя | | | Критерий | Результат |
|--|---------------------|-----------------|-----------|----------------------------|-------------------|
| | До коррекции | После коррекции | изменение | | |
| Вертикальность края борта | Невертикальный | Вертикальный | | Вертикальность | Улучшено |
| Складки на рукаве | Видимые | Менее видимые | | Отсутствие складок | Улучшено |
| Гладкость поверхности рукава | Негладкая | Более гладкая | | Гладкая поверхность рукава | Улучшено |
| Пространственное положение рукава и руки внизу | Неидеальное | оптимальная | | Наличие зазора | Частично улучшено |
| $((d_F+d_B)/2)$, см | 5.5 | 2.3 | -2.2 | 0...2 | Улучшено |
| $((\angle F+\angle B)/2)$, ° | 126 | 94 | -32 | 88...92 | Улучшено |
| c | 4 | 0 | -4 | 0 | Исправлено |
| FD, см | 1.9 | 1.7 | -0.2 | 0.7...4.1 | Сохранено |
| FC, см | 2.5 | 2.2 | -0.3 | 1...4.3 | Улучшено |
| a-b , см | 0.5 | 0.2 | -0.3 | 0...0.7 | Улучшено |
| Folds | 4 | 1 | -3 | 0...1 | Исправлено |
| d ₁₂ , см | 52.5 | 51.8 | -0.7 | 46.9...52 | Исправлено |
| d ₁₃ , см | 58 | 57.2 | -0.8 | 50.9...57.4 | Исправлено |

Из таблицы 4.7 видно, что после итераций дефекты устранены, что подтверждается визуально и количественно. Результаты показывают, что локальные дефекты посадки в AI-сгенерированных изображениях пальто реглан могут быть диагностированы с использованием заранее заданных показателей и интервальных правил и могут быть устранены с помощью промптов.

Выводы по главе 4

1. Разработана ИИ-ориентированная система цифровизации в рамках единого интерфейса использования проекционных измерений системы «фигура + пальто», включающая Style3D, Rhinoceros 7.0 и Grok 3. Данная система обеспечила сопоставление в едином масштабе физических пальто, 3D виртуальных изображений и ИИ-сгенерированных изображений.

2. Сформирована единая схема оценки. В данной схеме использовались MD, доверительные интервалы, относительная ошибка RE и MAPE для оценки структурных отклонений в ключевых зонах фигуры и пальто.

3. Практическая применимость предложенной системы была проверена

посредством генерации и валидации AIB и AIC изображений «фигура–пальто». Сравнение AIB и AIC с RB, VB, RC и VC подтвердило структурную адекватность AI-сгенерированных изображений фигур и пальто реглан.

4. Предложенные критерии для оценки качества посадки пальто могут быть использованы для оценки ИИ-сгенерированных изображений пальто реглан.

5. Определены взаимодополняющие роли 3D-симуляции и ИИ-генерации. Взаимодополняющие характеристики подтвердили целесообразность комбинированного в едином алгоритме цифровой трансформации процесса проектирования 3D и ИИ, в котором 3D-симуляция обеспечивает структурный ориентир, а ИИ-генерация улучшает силуэтное решение изображений.

ГЛАВА 5. ПРОВЕРКА И ИНЖЕНЕРНОЕ ПРИМЕНЕНИЕ ПРЕДЛОЖЕННОГО МЕТОДА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПАЛЬТО С РУКАВОМ РЕГЛАН

В данной главе проверяется практическая применимость предложенного метода проектирования пальто реглан. Проверка включает два направления: прямое проектирование, при котором форма пальто создаётся на основе чертежей, и обратная реконструкция, при которой конструкция деталей восстанавливается на основе анализа уже существующей объемно-силуэтной формы.

Единая схема проверки включает три основных вида доказательств: (1) проверку с помощью виртуальной примерки; (2) изготовление физических пальто; (3) количественный анализ на основе критериев оценки формы S_s и проекционных параметров. На рисунке 5.1 показаны алгоритмы прямого и обратного проектирования пальто реглан.

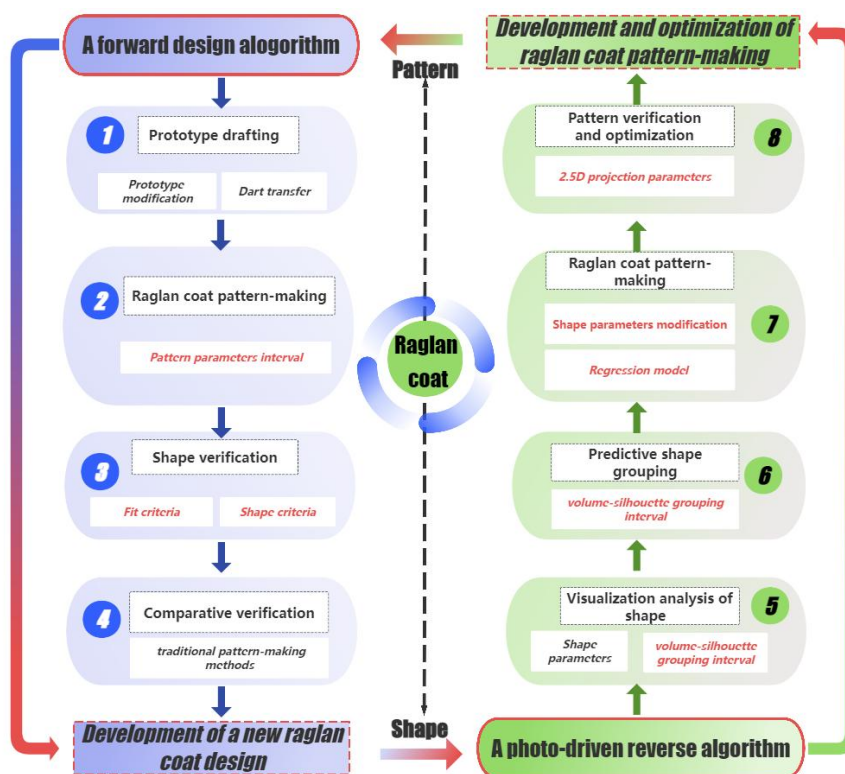


Рисунок 5.1- Схема прямого и обратного алгоритмов проектирования пальто реглан

Как показано на рисунке 5.1, левая часть схемы (① - ④) иллюстрирует направление прямого проектирования, а правая часть схемы (⑤-⑧) иллюстрирует направление обратного проектирования

5.1. Проверка алгоритма прямого проектирования

В данном разделе алгоритм прямого проектирования проверяется на основе процесса разработки «от чертежей к форме». Проверка включает выбор характеристик объемно-силуэтной формы пальто, построение чертежей на основе установленных правил, изготовление физического образца пальто и виртуальную симуляцию. Полученные виртуальные и физические образцы оценивали с использованием установленных критериев формы *Сс*.

5.1.1. База данных для построения чертежей

Для проверки было выбрано мужское пальто с рукавом реглан, технический эскиз которого показан на рисунке 5.2.

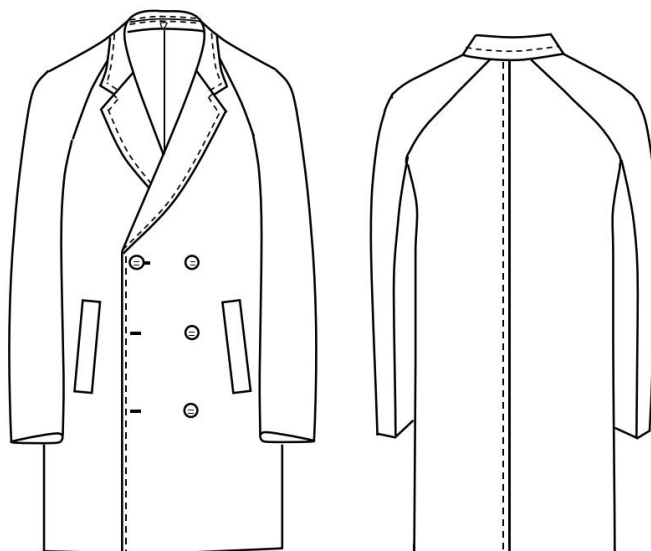


Рисунок 5.2 - Технический эскиз пальто реглан

Из рисунка 5.2 видно, что выбранное пальто является двубортным и имеет классический отложной воротник лацканом. Его основными характеристиками были, см: длина 100, ширина по линии груди 52 (полная ширина 126), ширина плечевого пояса 48, длина рукава 61, ширина рукава внизу 17, высота воротника сзади 4, ширина лацкана 7. Обхват груди типовой фигуры составляет 100 см, а соответствующая прибавка на свободу облегания по линии груди была определена 26 см. Согласно ранее установленной системе классификации объемно-силуэтной формы пальто принадлежит к категории Полусвободный (Semi-loose).

Исходная база данных для построения чертежей включала: (1) базовый прототип; (2) разработанная методики построения чертежей трехшовного рукава

реглан; (3) проектных характеристики модели пальто; (4) ключевые параметры чертежей с допустимыми диапазонами, соответствующих выбранной форме.

5.1.2 Алгоритм прямого построения лекал

Общий рабочий процесс состоит из двух основных этапов. Первый этап представляет собой построение модельной конструкции на основе базового прототипа, включающее корректировку прототипа и перенос выточек. Второй этап представляет собой построение чертежей пальто с рукавом реглан.

Построение прототипа. Таблица 5.1 показывает алгоритм построения прототипа, включая определение опорных линий и построение контуров передней и задней частей стана.

Таблица 5.1 - Процедура построения базового прототипа, см

| № | Конструктивный параметр | Отрезок | Формула | Построение | Результаты расчета, см |
|----|-------------------------------|---------------------|------------------------------|---|------------------------|
| 1 | Линия талии | 100–108 | $0.5(CG+E)$ (CG)) | Провести горизонтальную линию от 100 до 108 | 54 |
| 2 | Средняя линия спинки | 100–10 | | Провести вертикальную линию от 100 до 10 | 47 |
| 3 | Средняя линия переда | 100–18 | | Провести вертикальную линию от 100 до 18 | 39 |
| 4 | Глубина проймы | 10–90 | $0.1 \times \text{Рост} + 9$ | Определить точку 90 | 27.2 |
| 5 | Линия груди | 90–98 | | Провести горизонтальную линию через точку 90 до пересечения со средней линией переда | 54 |
| 6 | Ширина спинки | 90–92 | $0.15 \times CG + 5.6$ | Провести перпендикуляр из точки 92 к линии 98–90 | 20.6 |
| 7 | Ширина переда | 96–98 | $0.15 \times CG + 4.5$ | Провести перпендикуляр из точки 96 к линии 98–90 | 19.5 |
| 8 | Боковая линия и корректировка | 104–94; 104'–94' | | Точка 104 расположена в середине отрезка 100–108. Биссектриса 100–108 смещается назад | 2 |
| 9 | Наклон плеча спинки | 02–01–23 | | Провести линию через точку 01 под углом к горизонтальной линии 01–02 | 22° |
| 10 | Наклон плеча переда | 16–17–35 | | Провести линию через точку 17 | 18° |

| | | | | | |
|----|--|-----------|------------------|---|------|
| | | | | под углом к горизонтальной линии 17–16 | |
| 11 | Корректировка наклона плеча спинки | 16–17–35' | | В соответствии с различными особенностями формы фигуры | 25° |
| 12 | Раствор нагрудной вытачки | 94–84 | 0.025×CG –0.3 | Отложить значение вверх по продолжению 104–84 | 2.2 |
| 13 | Плечевая вытачка | 62–52 | 0.025×CG | Провести через точки 52 и 62 касательно к 92–02 | 2.5 |
| 14 | Ширина горловины переда | 10–11 | 0.08×CG | Провести горизонтальную линию влево через точку 10 | 8.3 |
| 15 | Глубина горловины переда | 00–01 | 0.33×10– 11 | Провести вертикальную линию вверх через точку 11 к точке 01 | 2.8 |
| 16 | Ширина горловины спинки | 48–47 | 10–11 – 0.3 | Провести горизонтальную линию влево через точку 48 | 8 |
| 17 | Глубина горловины спинки | 48–18 | 10–11 + 0.5 | Провести вертикальную линию вверх через точку 48 | 8.8 |
| 18 | Плечевая линия спинки | 01–23 | | Отложить 2 см от точки 22 для получения точки 23 | 15.3 |
| 19 | Плечевая линия переда | 17–35 | 01–23 – 0.7 | Провести плечевую линию от точки 17 | 14.6 |
| 20 | Кривые проймы спинки | 23–94 | | Провести плавную кривую от точки 32 через точки 52 и 62 к точке 94' | 25 |
| 21 | Пройма переда | 35–84' | | Провести плавную кривую от точки 32 через точку 76 к точке 84' | 24.3 |
| 22 | Распределение вытачки переда по средней линии переда | 48–108 | | В середине средней линии переда /48–108/ | 0.7 |
| 23 | Распределение вытачки переда по горловине | /48–17/ | | В середине кривой горловины /48–17/ | 0.5 |
| 24 | Распределение вытачки переда по пройме | 94'–84' | 0.025×CG –1.5 | Отложить значение вверх от точки 94' | 1 |
| 25 | Распределение вытачки спинки по плечевой линии | 10–90' | | В середине /10–90'/ выполнить раствор | 0.5 |
| 26 | Распределение вытачки спинки по средней линии спинки | 01–23 | | В середине /01–23/ | 1 |

| | | | | | |
|----|--|--------|-----------------|---|---|
| 27 | Распределение вытачки спинки по пройме | 62–52' | 0.025CG– 1.5 | Точка 51 является серединой 50–52; провести линии вытачки 51–52 и 51–62 | 1 |
|----|--|--------|-----------------|---|---|

На рисунке 5.3 показаны схемы чертежей на разных этапах построения.

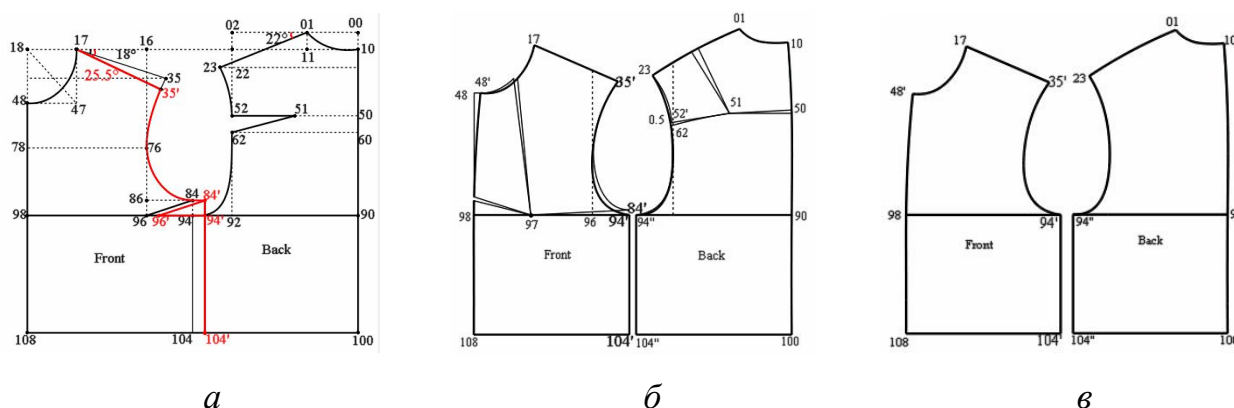


Рисунок 5.3 - Схемы построения и корректировки базового прототипа: *а* - построение базового прототипа и корректировка наклона плеча и положения бокового шва; *б* - перенос нагрудной и талиевой вытачек по результатам виртуальной примерки; *в* - окончательно скорректированный базовый прототип для последующего построения лекал пальто с рукавом реглан.

Как показано на рисунке 5.3, процесс конструирования включает: построение базового прототипа и корректировку наклона плечевых линий и положения бокового (рисунок 5.3,а), перенос нагрудной и талиевой вытачек в различные положения (Рисунок 5.3,б), проверку окончательно скорректированного прототипа, который служит основой для последующего построения лекал пальто с рукавом реглан (Рисунок 5.3,в).

Построение чертежа пальто с рукавом реглан. Таблица 5.2 показывает алгоритм построения лекал пальто с рукавом реглан.

Таблица 5.2 - Алгоритм построения чертежей пальто с рукавом реглан

| № | Конструктивный параметр | Отрезок | Формулы | Построение | Результат расчета, см |
|---|--------------------------|---------|---------|---|-----------------------|
| 1 | Точка горловины спинки | 10' | 10–10' | Смещение точки 10 вниз | 0.5 |
| 2 | Точка горловины переда | 48'' | 48–48'' | Смещение точки 48 вниз | 2 |
| 3 | Вершина горловины спинки | 17' | 17–17' | Отложить от точки 17 вдоль плечевой линии | 1 |

| | | | | | |
|----|--|------------------------|------------------------------|--|------|
| 4 | Вершина горловины переда | 01' | 01-01' | Отложить от точки 01 вдоль плечевой линии | 1 |
| 5 | Прибавка по груди переда | 96'-96'' | $0.33 \times (0.5E(CG) - 8)$ | Расширить ширину переда по груди 36'-96' | 3 |
| 6 | Прибавка к ширине спинки | 92'-92'' | $0.67 \times (0.5E(CG) - 8)$ | Расширить ширину спинки | 6 |
| 7 | Линия груди | 92'-94'', 96'-94' | / | Повернуть 23'-94'', 5'-94'' вокруг точек 16, 36 | / |
| 8 | Глубина проймы | 94'-940', 94''-40'' | $0.17 \times (E(CG) - 8)$ | Увеличить глубину проймы прототипа | 3 |
| 9 | Ширина реглана спинки | 17-27 | / | Провести вдоль горловины переда от точки 17 | 2 |
| 10 | Ширина реглана переда | 01-12 | / | Провести вдоль горловины спинки от точки 01 | 4 |
| 11 | Линии реглана переда и спинки | 12-940'', 27-940' | / | Провести дуги 27-940' и 12-940'' | / |
| 12 | Линия ширины рукава | S30-S38 | / | Провести 96'-940 и 92'-940 на одной горизонтальной линии; провести кривые 35'-940 и 940-23 | 43.5 |
| 13 | Средняя линия рукава | 00-S54 | / | Найти середину 00 отрезка 35'-23 и провести вертикальную линию вниз | 27.2 |
| 14 | Высота оката рукава | 940-S10 | $0.83 \times 00 - 940$ | Высота оката рукава | 21.7 |
| 15 | Прямая линия угла передней части рукава | S10-S30 | 35'-940'-1 | Передняя пройма | 29.5 |
| 16 | Прямая линия угла задней части рукава | S10-S38 | 23-940''-0.5 | Задняя пройма | 32 |
| 17 | Соединительные точки переда и спинки | S22, S26 | $0.17 \times 00 - 940$ | Провести горизонтальную линию через S20 до пересечения с линиями проймы переда и спинки | |
| 18 | Средняя линия передней/задней части рукава | S12-S52, S16-S56 | / | Найти середины S52, S56 отрезков S50-S54 и S54-S58 | / |
| 19 | Дуга оката передней части рукава | S10-S30 | / | Использовать S12-S52 как ось симметрии и построить дуги | / |

| | | | | | |
|----|--|----------------------------|--------------------|--|------------------|
| | | | | S30–S35'' и 35'–940 | |
| 20 | Дуга оката задней части рукава | S38–S10 | / | Использовать S16–S56 как ось симметрии и построить дуги 23–940 и 23''–S38 | / |
| 21 | Пройма передней части рукава | 940–35' | 15:01.2 | Смещение средней линии рукава вдоль S34–S43 с соотношением наклона; 940–35' симметрично 35''–S30 | 15 см, 1.2 см |
| 22 | Разделение средней линии передней и задней частей рукава | S10'–54', S10''–54'' | / | Разделить среднюю линию рукава S10–S54 | / |
| 23 | Линия реглана передней/задней части рукава | S27–S22–S30, S12–26–S38 | / | Провести дугу через соединительные точки S22 и S26 | / |
| 24 | Сумма наклонов плеча переда и спинки | $\angle 1 + \angle 2$ | 40°...54° | Провести горизонтальные линии через точки 01 и 02; угол между линией плеча и горизонтальной линией | 47 |
| 25 | Сумма углов плечо–рукав переда и спинки | $\angle 3 + \angle 4$ | 60°...72° | Угол между плечевой линией и средней линией рукава | 62 |
| 26 | Разница ширины передней и задней частей рукава | S34–S34'' – S34–S34' | 2.5...7.5 | Разница между линиями ширины передней и задней частей рукава | 6.5 |
| 27 | Смещение средней линии рукава на уровне манжеты | S54''–40'', S54'–540' | 0...3.5 | Смещение средней линии рукава на уровне манжеты | 3.2 |
| 28 | Смещение средней линии рукава | S34–54' | / | S34–S54 смещается вперёд на величину S54–S54' | 3 |
| 29 | Средняя линия передней части рукава | S230–520 | / | S230–S52 смещается вперёд | 2 |
| 30 | Средняя линия задней части рукава | S270–58'' | / | S270–S560 смещается вперёд | 2 |
| 31 | Ширина манжеты | S520–560 | 0.5×ширина манжеты | Линия ширины манжеты | 16 |
| 32 | Боковой шов передней/задней частей | S23–S50', S27–S58' | S50'–S520 | Параллельно S230–S520 и S270–S58'' | 3.5 |

Рисунок 5.4 - Ключевые этапы алгоритма построения чертежей пальто с рукавом реглан: *а* - построение базового прототипа; *б-ж* - построение чертежей рукава реглан и стана; *з* - окончательные чертежи стана и рукава

Для оценки инженерных преимуществ предложенного метода построения чертежей он был сравнен с традиционным методом, широко применяемым в современных китайских учебниках [140]. Подробная процедура построения по традиционному методу представлена в таблице С.1 ПРИЛОЖЕНИЯ С

5.1.3. Изготовление физического образца

Для оценки инженерной реализуемости чертежи, полученные с использованием предложенного метода, были переданы двум швейным предприятиям, а именно PolargooseClothingCo.,Ltd. (Китай) и ОАО «Сударь» (Ковров, Владимирская область, Россия). Соответствующие документы промышленной проверки приведены в ПРИЛОЖЕНИИ С.

Для контроля влияния материала при проверке физических образцов все изделия в данном разделе были изготовлены из одной и той же ткани. В качестве материала использовали мелтоновую шерстяную ткань (60% шерсти, 20% вискозы и 20% полиэстера). На рисунке 5.5 показана форма пальто с рукавом реглан при реальной примерке, полученная на основе предложенного алгоритма проектирования.



Рисунок 5.5 - Реальная пальто с рукавом реглан, полученное с использованием предложенного алгоритма построения лекал

Как показано на рис. 5.5, натуральный образец, изготовленный на основе предложенного алгоритма построения конструкции, демонстрирует приемлемое пространственное соотношение между рукавом и рукой в видах спереди, сбоку и сзади. На виде спереди рукава сохраняют чёткое и относительно

сбалансированное пространственное расстояние от рук с обеих сторон. Подмышечная область имеет относительно гладкий внешний вид, а рукава формируют достаточное локальное пространство вокруг рук, что указывает на способность ширины рукава и конструкции проймы обеспечивать пространство вокруг руки. На виде сбоку рукав следует естественному наклону руки вперёд, при этом между рукавом и передней стороной руки сохраняется определённое пространство. Это показывает, что направление средней линии рукава и пространственное соотношение на уровне низа рукава отражают ожидаемые признаки конфигурации системы «рукав–рука». На виде сзади переходная область между плечом и рукавом, а также задние части рукава выглядят относительно гладкими; задняя часть рукава, подмышечная область и нижняя линия рукава имеют непрерывную внешнюю форму.

Таким образом, данный натурный образец подтверждает удовлетворительное качество посадки.

5.1.4. Проверка двух методик конструирования

На рисунке 5.6 показаны результаты виртуальной примерки, полученные с использованием традиционного метода (этапы построения приведены в таблице С.6 ПРИЛОЖЕНИЯ С) и предложенного метода.

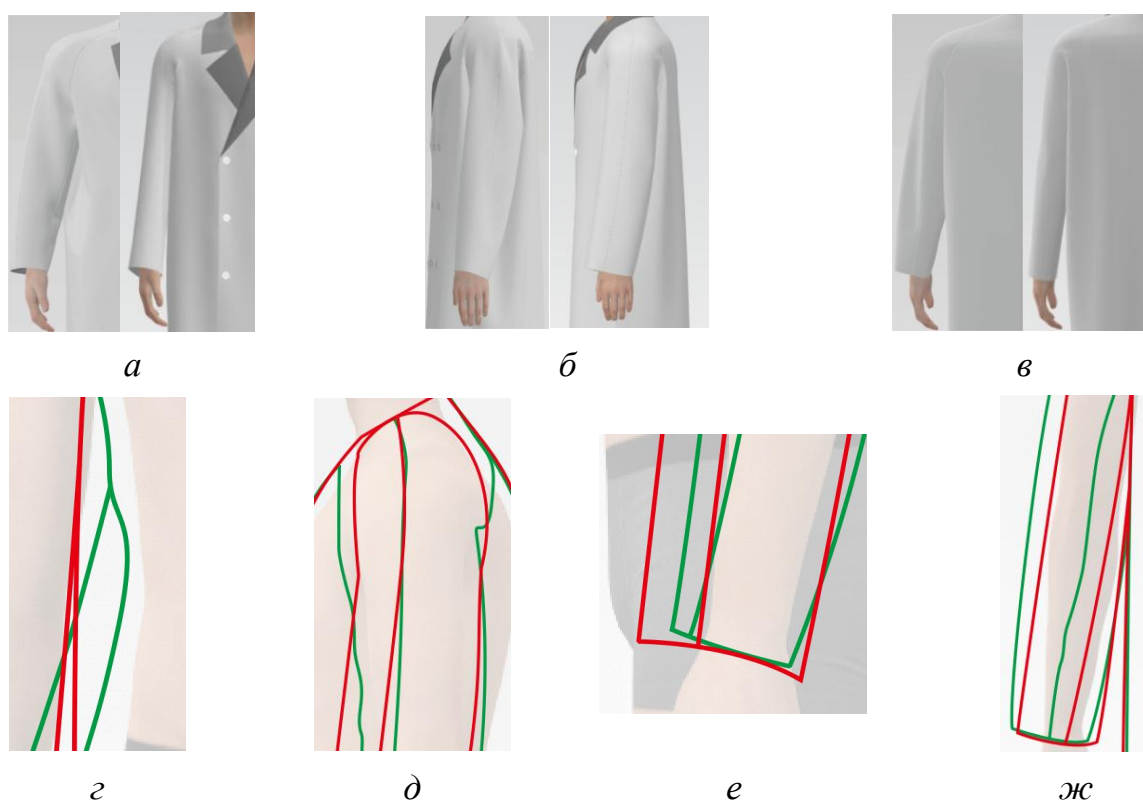


Рисунок 5.6 - Сравнение виртуальных пальто по традиционному и предложенному методам построения чертежей: *а-в* - виды спереди, сзади и сбоку; *г-ж* - сравнение контуров в ключевых зонах (подмышечная зона, передний и задний швы рукавов, манжета). Зелёные линии обозначают традиционный метод; красные линии обозначают предложенный метод

Из рисунка 5.6 видно, что в пальто при традиционном методе появляются деформации в области подмышки, по средней линии спинки, а также вдоль переднего и заднего швов рукава. Особенно заметна складка рукава на виде сбоку, при этом пространственный зазор между передним сгибом рукава и рукой внизу минимален.

Таблица 5.4 показывает результаты сравнительного анализа реального и виртуального пальто, полученных традиционным и предложенным методами построения лекал.

Таблица 5.4 - Сравнительный анализ реальной и виртуальной форм, полученных традиционным и предложенным методами построения лекал

| Критерии посадки | Интервал | Показатели формы | | | Различие между показателями Δ | |
|-----------------------------------|-----------|---------------------|-------------|------------------|--------------------------------------|------------------|
| | | в виртуальной среде | | в реальной среде | новый – традиционный | реальная – новый |
| | | традиционный метод | новый метод | | | |
| $(d_F + d_B)/2, \text{cm}$ | 0...2 | 0.7 | 1.5 | 2 | 0.8 | 0.5 |
| $(\angle F + \angle B)/2, ^\circ$ | 88...92 | 94.2 | 92.5 | 91.9 | 1.7 | 0.6 |
| c | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| FD, cm | 0.7...4.1 | 4.4 | 3.1 | 3.8 | 1.1 | 0.7 |
| FC, cm | 1...4.3 | 0.4 | 3.6 | 3.8 | 3.2 | 0.2 |
| $ a-b , \text{cm}$ | 0...0.7 | 1.4 | 0 | 0 | 1.4 | 0 |
| $Folds$ | 0 | 4 | 0 | 0 | 4 | 0 |

Как видно из таблицы 5.4, результат натурной примерки, полученный с использованием предложенного метода, удовлетворил всем семи критериям. Отклонения между натурными и виртуальными результатами не превышали 0,7 см для линейных параметров и $0,6^\circ$ для углового параметра, что указывает на хорошую согласованность между виртуальной и натурной формой в условиях данного эксперимента. Для сравнения, традиционный метод удовлетворил только двум критериям.

5.2. Проверка алгоритма обратного построения лекал

В данном исследовании алгоритм обратного построения чертежей проверен посредством двух взаимосвязанных задач: путем реконструкции от формы к чертежам и корректировки чертежей, позволивших преобразовать неудовлетворительную форму пальто в качественную.

5.2.1. Объект для обратного алгоритма

Для проверки предложенного алгоритма обратного построения лекал в условиях, когда доступна только фотография пальто с рукавом реглан, в качестве объекта проверки было выбрано мужское пальто с рукавом реглан с чётко прослеживаемым промышленным происхождением, которое было изготовлено и выведено на рынок в 2025 году компанией NingboMarriottGarmentCo.,Ltd. (Китай). Размерные характеристики фигуры соответствовали типовой фигуре, установленной в предыдущих разделах. На рисунке 5.7 показана схема анализа выбранного пальто с рукавом реглан.



Рисунок 5.7 - Фотоанализ пальто с рукавом реглан: синие пунктирные линии выделяют локальные дефекты; красные сплошные линии показывают места измерений

Как показано на рисунке 5.7, сначала была проведена начальная визуальная диагностика пальто для локализации и обозначения участков дефектов. Затем форма была измерена в соответствии с установленными критериями оценки формы S_c . Эти параметры составляют входную базу для обратной реконструкции чертежей и обеспечивают количественную поддержку последующей диагностики формы и параметрической корректировки. Референсная форма на рисунке 5.7

иметт выраженный дисбаланс стана в области краев бортов внизу, несогласованность средней линии и переднего сгиба рукава и складки на рукаве.

5.2.2. Алгоритм обратной генерации чертежей

Алгоритм обратного проектирования основан на трёх положениях, установленных в предыдущих разделах: (1) интервалах группировки объёмно-силуэтных форм пальто; (2) соответствующей прибавки по линии груди $E(CG)$, а также её распределении для данной группы; (3) регрессионных моделях «чертежи–форма», которые соединяют параметры формы Y в ключевые параметры чертежей X .

С точки зрения реализации обратный алгоритм состоит из двух расчётных маршрутов. Маршрут А представляет собой реконструкцию формы на основе параметров, измеренных на фотографии и непосредственно используемых в регрессионных уравнениях для расчёта соответствующих конструктивных параметров. Маршрут В представляет собой генерацию скорректированной формы с целевой корректировкой, при которой параметры формы, указывающие на неудовлетворительное состояние формы, сначала корректируются до репрезентативных целевых значений в пределах допустимых интервалов хорошей формы, а затем используются в регрессионных уравнениях. Таблица 5.5 показывает рабочий процесс обратного проектирования для реконструкции «фотография → чертежи» и генерации с корректировкой.

Таблица 5.5 - Алгоритм обратного проектирования для реконструкции чертежей

| Маршрут | Процедура | Входное / целевое значение | Уравнение / правило | Выход |
|---------|---|--|---|---|
| А | Определение объёмно-силуэтной категории | d_{12c}, d_{13c} | Интервал объёмно-силуэтной группировки | Силуэтная категория |
| А | Определение $E(CG)$ и распределения прибавки | Определённая объёмно-силуэтная категория | Репрезентативное значение + оптимальное соотношение распределения | $E(CG)$ и распределение прибавки между передом и спинкой |
| А | Извлечение параметров формы и диагностика формы | $FDc, FCc, ac, bc, Folds$ | Критерии формы Cc | Параметры Y , полученные по фотографии, и диагностическое |

| | | | | решение |
|--------|--|---|---|---|
| A/B | Задание уровня складок и вывод угла плечо-рукав | Измеренное Y_4 или целевое Y_4 , выбранное в интервале $0...1$ | $Y_4 = -5.02 + 0.0838X_7$ | X_7 |
| A/B | Задание согласованности средней линии рукава и вывод наклона плеча | Измеренное Y_3 или целевое Y_3 , выбранное в интервале $0...0.7$ см | $Y_3 = -0.35 + 0.140X_{10}$ | X_{10} |
| A/B | Вывод смещения средней линии рукава | Измеренное Y_2 или целевое $Y_2 \in 1.0...4.3$ см | $Y_2 = -1.48 + 1.658X_{11}$ | X_{11} |
| A/B | Вывод разницы ширины рукава | Измеренное Y_1 или целевое $Y_1 \in 0.7...4.1$ см | $Y_1 = -8.98 + 0.242X_4$ | X_4 |
| Output | Генерация обратных лекал | $E(CG), X_4, X_7, X_{10}, X_{11}$ | Оптимизированный прототип как конструктивный шаблон | Обратногенерированные лекала пальто с рукавом реглан по Маршрут А и Маршрут В |

Примечание: Маршрут А использует значения Y , измеренные по фотографии, для реконструкции чертежей. Маршрут В использует целевые значения Y , выбранные из допустимых интервалов хорошей формы, для генерации скорректированной формы. Y_1 — FD_C , Y_2 — FC_C , Y_3 — $|a_c - b_c|$, Y_4 — $Folds_C$; X_{10} — $\Delta(BSW - FSW)$, X_{11} — $Offset(SCL)$, X_4 — $\Delta(\angle BSS + \angle FSS)$, X_7 — $\Delta(\angle BA + \angle FA)$.

В маршруте А измеренные на фотографии значения Y служат для вычисления конструктивных параметров чертежей пальто. В маршруте В значения Y , признанные как дефектные, сначала корректировали до целевых значений в пределах интервалов хорошей формы, а затем использовали для вычисления конструктивных параметров чертежей, предназначенных для генерации скорректированной формы.

В данном случае d_{12c} и d_{13c} были измерены на рисунке 5.7 и составили 52.5 см и 58.0 см соответственно. Согласно установленным интервалам объёмно-силуэтной группировки сфотографированное пальто с рукавом реглан было отнесено к категории Semi-loose. Поэтому применимый интервал прибавки по линии груди был определён как $E(CG) \in 19...25$ см. Для обратной генерации чертежей было выбрано значение $E(CG) = 24$ см. На основе распределения

прибавки между передом и спинкой соответствующие прибавки к ширине переда и спинки были рассчитаны как 3.5 см и 4.5 см соответственно. После определения объёмно-силуэтной категории, общей прибавки по линии груди и распределения прибавки между передом и спинкой оставшиеся параметры формы Y_1 – Y_4 были использованы для вычисления конструктивных параметров X с помощью регрессионных уравнений. Значения Y и X для двух маршрутов представлены в таблице 5.6.

Таблица 5.6 - Входные параметры формы и обратно рассчитанные параметры чертежей для двух расчётных маршрутов

| Параметр формы | Значение параметра | Маршрут А | | Маршрут В | |
|----------------|--------------------|---|---------------------|---|---------------------|
| | | Y , используемое для реконструкции | рассчитанное X | Y , используемое для скорректирован ной генерации | рассчитанное X |
| Y_1 | 4.0 | 4.0 | $X_4 = 53.7^\circ$ | 4.0 | $X_4 = 53.7^\circ$ |
| Y_2 | 3.0 | 3.0 | $X_{11} = 2.7$ | 3.0 | $X_{11} = 2.7$ |
| Y_3 | 1.0 | 1.0 | $X_{10} = 9.6$ | 0.4 | $X_{10} = 5.4$ |
| Y_4 | 2 | 2 | $X_7 = 83.8^\circ$ | 0.5 | $X_7 = 65.9^\circ$ |

Как показано в таблице 5.6, в маршруте А использованы измеренные значения формы Y_1 , Y_2 , Y_3 и Y_4 для расчёта соответствующих параметров чертежей. Следовательно, в этом маршруте будут сохранены все характеристики формы на фотографии. В маршруте В будут сохранены только значения Y_1 и Y_2 , поскольку они находятся в допустимых интервалах, а значения Y_3 и Y_4 будут откорректированы для согласования положения средней линии рукава и исключения складок. В результате маршрут В формирует другой набор ключевых параметров чертежей X_4 и X_7 . Рисунок 5.8 показывает реконструированные чертежи и схемы проверки ключевых параметров по двум маршрутам.

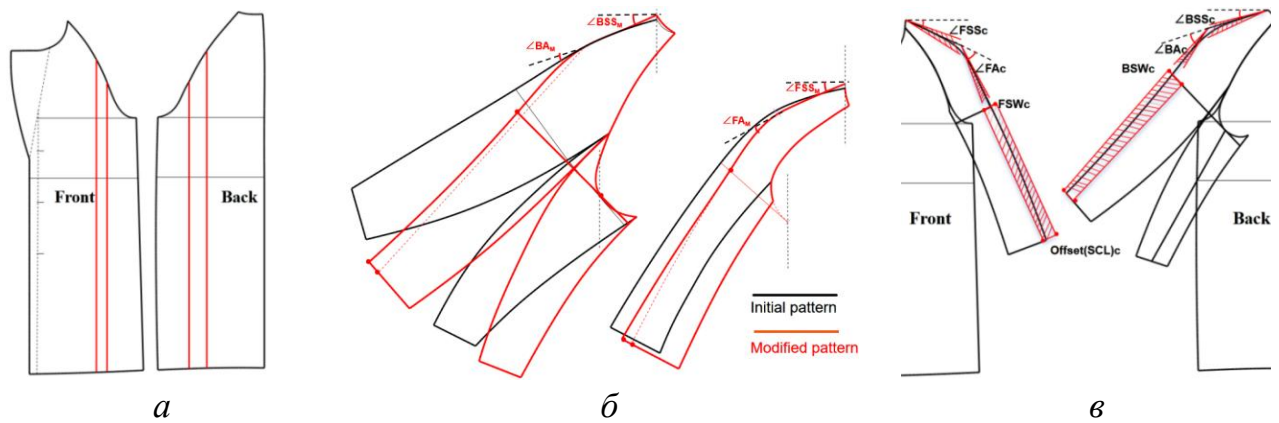


Рисунок 5.8 - Реконструированные чертежи и схемы проверки ключевых параметров по двум маршрутам: а - сгенерированные чертежи стана; б - сравнение чертежей рукавов для маршрутов А и В; в - ключевые параметры чертежей для маршрута В, расположенные в пределах допустимых интервалов

Как показано на рисунке 5.8,а, чертежи стана были сгенерированы согласно значению $E(CG)$ и прибавкам к ширине переда и спинки в лекале, выведенным из объёмно-силуэтной категории Semi-loose. Рисунок 5.8, б сравнивает чертежи рукавов, сгенерированные по маршрутам А и В. По сравнению чертежами маршрута А, чертежи рукава по маршруту В отличаются скорректированным углом плечо–рукав и конфигурацией средней линии рукава после корректировки Y_3 и Y_4 .

Рисунок 5.8, с дополнительно показывает ключевые переменные чертежа маршрута В: угол наклона плечевого пояса, угол плечо–рукав, разницу ширин частей рукава и смещение средней линии рукава. Теперь чертежи по маршруту В удовлетворяют требованиям целевых интервалов для ключевых параметров X_4 , X_7 , X_{10} и X_{11} .

Таким образом, два обратносгенерированных лекала предоставляют разные объекты проверки. Маршрут А используется для проверки того, может ли предложенный обратный рабочий процесс реконструировать форму, представленную на фотографии, Маршрут В используется для оценки того, могут ли скорректированные параметры формы улучшить неудовлетворительную форму и перегенерировать ее в качественную.

5.2.3 Виртуальная и физическая проверка

Для оценки эффективности обратного алгоритма были проверены два чертежа пальто, полученные в разделе 5.2.2 в виртуальных и физических условиях. Проверку проводили по трём направлениям: (1) визуальное сравнение виртуальных и физических силуэтов для оценки складок и локальных деформаций;

(2) проверка ключевых параметров формы для определения их принадлежности хорошей форме; (3) проверка сохранения скорректированной формой по маршруту В принадлежности категории Semi-loose.

Для виртуальной проверки чертежи импортировали в Style3DV9.0 для 3D-симуляции. В симуляции была применена цифровая ткань с теми же показателями свойств, что и реальная ткань, чтобы обеспечить согласованность условий виртуальной и физической проверки. Одновременно по чертежам маршрута В был изготовлен физический образец. Рисунок 5.9 показывает результаты виртуальной и физической примерки пальто, сгенерированного по реконструированным чертежам.

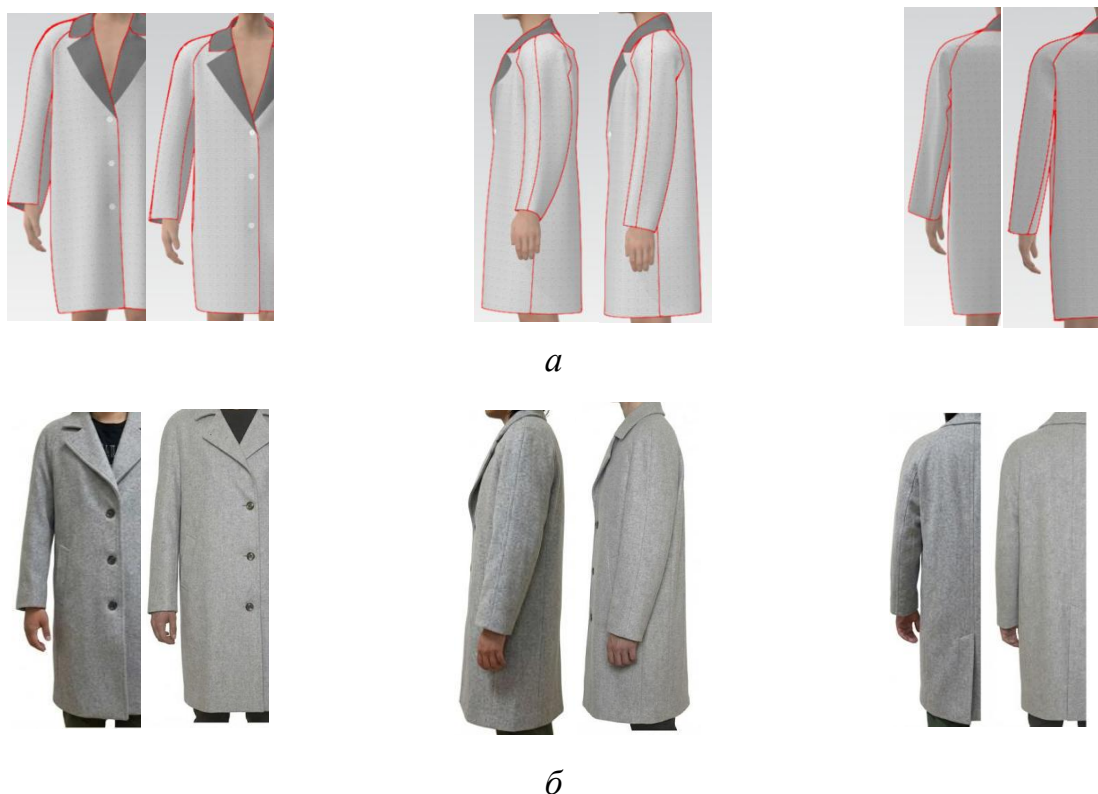


Рисунок 5.9 - Фотографии пальто для проверки чертежей: а - виртуальные модели; б - физические модели. Для виртуальной проверки реконструированное пальто по маршруту А показано слева, а по маршруту В - справа. Для физической проверки исходный образец (рисунок 5.7) представлен слева, а скорректированный образец по маршруту В - справа.

Из рисунка 5.9 видно, что благодаря маршруту В скорректированный чертеж улучшил качество посадки и устранил несколько локальных дефектов, в частности, складки в подмышечных областях передней и задней частей рукава. Наклон рукава вперед стал более выраженным, линии поверхности рукава стали более плавными, а пространственное соотношение между рукавом и рукой стало более стабильным. Эти результаты показывают, что целевая корректировка

дефектных параметров Y улучшила согласованность средней линии рукава и контроль складок сгенерированного пальто с рукавом реглан. В пальто по маршруту А складки и локальные деформации в определённой степени сохранились. Таблица 5.7 показывает соответствующие измеренные значения параметров формы.

Таблица 5.7 - Количественное сравнение параметров формы рукава для маршрутов А и В

| Критерии посадки | Интервал | Сравнение исходной и модифицированной форм | | |
|-----------------------------------|-----------|--|------------------|--|
| | | Исходная | Модифицированная | Δ (Исходная – Модифицированная) |
| $(d_F + d_B)/2, \text{cm}$ | 0...2 | 4.9 | 2.0 | 2.9 |
| $(\angle F + \angle B)/2, ^\circ$ | 88...92 | 109.5 | 91.3 | 18.2 |
| c | 0 | 2 | 0 | 2 |
| FD, cm | 0.7...4.1 | 3.4 | 1.7 | 1.7 |
| FC, cm | 1...4.3 | 4.0 | 2.2 | 1.8 |
| $ a-b , \text{cm}$ | 0...0.7 | 1.5 | 0 | 1.5 |
| $Folds$ | 0 | 4 | 0 | 4 |

Как показано в таблице 5.7, реконструированная форма Маршрут А сохранила несколько дефектов формы, наблюдавшихся в референсной форме (рисунок 5.7), включая выраженный дисбаланс стана, несогласованность средней линии рукава и видимые складки рукава. В отличие от этого, все ключевые параметры скорректированной формы Маршрут В находились в пределах интервалов хорошей формы: значение $(d_F + d_B)/2$ уменьшилось с 4.9 до 2.0 см, а значение $(\angle F + \angle B)/2$ уменьшилось с 109.5° до 91.3° , что указывает на улучшение баланса стана. Значение $|a - b|$ уменьшилось с 1.5 см до 0 см, а количество складок уменьшилось с 4 до 0. Эти результаты подтверждают, что скорректированные параметры Y могут быть эффективно преобразованы в параметры чертежей, способные улучшить итоговую форму пальто с рукавом реглан.

Для дальнейшей оценки точности воспроизведения объёмно-силуэтной формы проекционные параметры скорректированного пальто по маршруту В были сопоставлены с параметрами референсной формы на фотографии. Параметры d_{12} и d_{13} были измерены для обеих форм; различия составили соответственно 0.4 см и 0.7 см. Эти небольшие различия показывают, что скорректированная форма по маршруту В сохранила ту же объёмно-силуэтную категорию Semi-loose, что и

референсная форма по фотографии, но одновременно с устранением локальных дефектов.

Подробное сравнение фронтальных и боковых параметров между референсной формой по фотографии и скорректированным пальто Маршрут В представлен в таблице С.5 ПРИЛОЖЕНИЯ С. На основе анализа МД скорректированная форма по маршруту В показала адекватность исходной объёмно-силуэтной формы, особенно по фронтальной ширине и боковой ширине, где средние отклонения составили соответственно 0.2 ± 0.8 см и -0.7 ± 1.1 см. Отклонения в области, связанной с рукавом, были относительно больше, главным образом потому, что наклон плечевой линии и соотношение плечо–рукав были целенаправленно скорректированы для устранения дисбаланса рукава и проблем складкообразования, наблюдавшихся в референсной фотографии. Поэтому эти локальные отклонения отражают необходимые конструктивные корректировки для улучшения формы, а не неконтролируемое искажение силуэта.

В целом фотоориентированный алгоритм обратного проектирования позволяет выполнять реконструкцию чертежей. Результаты проверки показали, что обратно сгенерированные скорректированные чертежи устранили дефекты формы, сохранив ее категорию.

5.3. Оценка инженерной эффективности на этапе подготовки производства

Оценка эффективности подготовки производства была сосредоточена на репрезентативной задаче прямого конструирования, поскольку эта задача включает полный рабочий процесс: анализ модели, подготовку прототипа, разработку чертежей пальто реглан, проверку, корректировку и утверждение первого образца. Постоянные операции сборки пальто не включены в основной показатель эффективности, поскольку они напрямую не зависят от логики генерации лекал.

Сравнение проводили при одинаковых исходных данных. Традиционный маршрут был представлен учебным процессом построения лекал пальто с рукавом реглан и последующей корректировкой после примерки, тогда как предложенный маршрут использовал проверенные интервалы параметров, правила распределения прибавки по линии груди, проверку в виртуальной примерке и процедуру целевой корректировки, установленные в предыдущих главах. Показатели рассчитывали в соответствии с содержанием этапов разработки, поэтапными затратами времени и оценочной стоимости, приведёнными в ПРИЛОЖЕНИИ С. В таблице 5.8 представлены результаты сравнения.

Таблица 5.8 - Сравнительная оценка инженерной эффективности традиционного и предложенного методов

| Показатель | Традиционный метод | Предложенный метод | Снижение, % | Примечание |
|---|--------------------|--------------------|-------------|---|
| Ключевые этапы разработки | 12 | 7 | 41.7 | этапы ручной корректировки |
| Время разработки лекал, ч | 19 | 9 | 52.6 | анализ модели + построение лекал + проверка |
| Время корректировки после примерки, ч | 24 | 12 | 50 | корректировка на основе физической примерки |
| Общее время разработки, ч | 43 | 21 | 51.2 | без учёта постоянной сборки изделия |
| Стоимость разработки лекал, юаней | 400 | 200 | 50 | оценочно |
| Стоимость разработки первого образца, юаней | 800 | 500 | 37.5 | оценочно, при допущении одинакового материала |
| Количество примерок | 2 | 1 | 50 | сокращение с двух примерок до одной |

Как показано в таблице 5.8, предложенный метод сократил количество ключевых этапов ручной корректировки и ресурсы, необходимые для утверждения первого образца. Эти результаты показывают инженерное преимущество предложенного метода в возможностях управления формой и более эффективном рабочем процессе разработки.

В частности, предложенный метод снизил все основные показатели подготовки производства, включая количество ключевых этапов разработки, время разработки лекал, время корректировки после примерки, общее время разработки, количество примерок и оценочные затраты. Наиболее заметные улучшения были получены по времени разработки лекал и общему времени разработки, оба показателя сократились более чем наполовину. Количество примерок также уменьшилось с двух до одной. Эти результаты показывают, что повышение эффективности в основном было достигнуто за счёт замены повторяющихся эмпирических корректировок параметрически направленным построением лекал, виртуальной проверкой и целевой корректировкой.

Сравнение оценочных затрат показало ту же тенденцию. При одинаковых допущениях по модели и материалу предложенный метод снизил как стоимость

разработки лекал, так и стоимость разработки первого образца, главным образом за счёт уменьшения количества ручных корректировок и количества примерок. Следовательно, предложенный метод повышает управляемость формы, воспроизводимость, инженерную эффективность и экономическую целесообразность на этапе подготовки производства пальто с рукавом реглан.

Подробные определения ключевых этапов разработки, поэтапной оценки времени и состава оценочной стоимости представлены в таблицах С.2–С.4 ПРИЛОЖЕНИЯ С.

Помимо количественных показателей эффективности, инженерная готовность к производственной реализации также была рассмотрена посредством промышленной проверки. Скорректированные САД-файлы лекал и соответствующий технический пакет были переданы на проверку двум швейным предприятиям: PolargooseClothingCo.,Ltd. (Китай) и ОАО «Сударь» (Ковров, Владимирская область, Россия). Проверка включала проверку чертежей, согласование ниточных соединений стана с рукавом, осуществимость раскроя и пошива, а также ясности информации для подготовки производства. Записи промышленной проверки представлены в Рисунки D.1 - D.2 ПРИЛОЖЕНИИ D. Эти результаты проверки предоставили дополнительные доказательства инженерной реализуемости предложенного метода проектирования пальто с рукавом реглан.

В целом сравнение эффективности показывает, что предложенный метод имеет практическую ценность для производства, поскольку он преобразует ряд операций, зависящих от опыта, в параметрически направленные и проверяемые процедуры. В протестированной задаче прямой разработки сокращение этапов разработки, затрат времени, количества корректировочных примерок и оценочной стоимости показывает, что метод может сократить время разработки первого образца при обеспечении требуемого качества пальто.

Выводы по главе 5

1. Создана производственно-ориентированная система проверки чертежей пальто с рукавом реглан. В контролируемых и воспроизводимых условиях были объединены виртуальная примерка, изготовление физических образцов, проверка критерии формы и проекционных параметров.

2. Прямой алгоритм проектирования был проверен для разработки новых лекал пальто с рукавом реглан. Разработанный метод обеспечил стабильное управление силуэтом и показал согласование результатов виртуальной симуляции и реальной примерки, продемонстрировав лучшие показатели по ключевым параметрам формы по сравнению с традиционным методом построения чертежей.

3. Фотоориентированный обратный алгоритм был проверен при реконструкции чертежей и генерации формы с целевой корректировкой. При наличии только одной фотографии пальто алгоритм обеспечил сохранение признаков объёмно-силуэтной формы, обратный расчёт конструктивных параметров чертежей на основе регрессионных моделей и целевую корректировку с учётом заданных критериев качественной посадки.

4. Инженерная реализуемость была подтверждена посредством промышленной проверки. Сгенерированные файлы лекал были переданы двум независимым швейным предприятиям в Китае и России, а результаты изготовления образцов пальто и обратной связи подтвердили правильность расчёта конструкции и технологичность изготовления.

5. Предложенный метод двустороннего проектирования пальто с рукавом реглан повысил уровень контроля параметров формы, воспроизводимость и эффективность на этапе подготовки производства. По сравнению с традиционным методом, предложенный метод сократил количество ручных корректировок на 41,67%, общие затраты времени на разработку — на 51,16%, а также снизил расчетную стоимость разработки первого образца пальто на 37,5%.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

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 в 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 объёмно-силуэтных форм, позволивший достичь 95% уровень качественных пальто в широком диапазоне размеров.

5. Проведена 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 прослеживаемость, 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 ДАЛЬНЕЙШИХ 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 покрой 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.

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

| | | |
|------------------------|---|---|
| a | — | Расстояние от контура рукава до референсной линии на уровне верхней части руки |
| a _F | — | Показатель отвесности переднего профильного контура |
| АНW | — | Ширина проймы |
| AIB | — | Тело, сгенерированное искусственным интеллектом |
| AIB _A | — | AIB, созданное методом А: текст + 2.5D-проекционные значения |
| AIB _B | — | AIB, созданное методом В: текст + 2.5D-проекционные значения + 3D-референсные изображения |
| AIB _C | — | Тело, восстановленное после удаления пальто с изображения «тело + пальто» |
| AIC | — | Пальто, сгенерированное искусственным интеллектом |
| AIC _{S1...S4} | — | AIC в объемно-силуэтных категориях S1–S4 |
| AL | — | Уровень проймы; поперечное сечение по линии проймы |
| Assp | — | Угол между плечевой линией и средней линией рукава в плечевой точке |
| av | — | Среднее значение |
| b | — | Расстояние от контура рукава до референсной линии на уровне локтя |
| BAP | — | Задний угол подмышечной впадины |
| b _B | — | Показатель отвесности заднего профильного контура |
| BC | — | Задний зазор: расстояние от задней стороны руки до заднего контура рукава внизу рукава на профильном виде |
| BNP | — | Задняя шейная точка |
| BSNP | — | Задняя плечево-шейная точка |
| BSP | — | Задняя плечевая точка |
| BSS | — | Линия плечевого ската спинки |
| X ₈ —BSW | — | Ширина задней части рукава |
| BW | — | Ширина спинки |
| BWG | — | Ширина талии спинки |
| c | — | Количество складок на стане; показатель наличия складок |
| d ₁₁ | — | Горизонтальная ширина плеч по крайним точкам рукава |
| d _{11p} | — | Угол между плечевой линией и средней линией рукава |

| | | |
|--|---|---|
| d_{12} | — | Комплексный дескриптор ширины силуэта в области груди и проймы |
| d_{12p} | — | Горизонтальное расстояние от плечевой точки до передней средней линии |
| d_{13} | — | Комплексный дескриптор ширины силуэта в области талии и локтя |
| d_{13p} | — | Ширина рукава на уровне проймы в точке пересечения референсной линии ширины плеча и SCL |
| d_B | — | Отклонение линии низа сзади от горизонтальной линии |
| $D'_C, D'_W, D'_H,$ D'_A, D'_E, D'_{Wr} | — | Профильные проекционные параметры глубины внешнего контура пальто |
| $D_C, D_W, D_H,$ D_A, D_E, D_{Wr} | — | Профильные проекционные параметры глубины тела |
| d_F | — | Отклонение линии низа спереди от горизонтальной линии |
| $E(CG)$ | — | Прибавка по обхвату груди |
| EC | — | Воздушный зазор между рукавом и рукой в локтевой точке |
| EL | — | Уровень локтя; поперечное сечение по линии локтя |
| FAP | — | Передний угол подмышечной впадины |
| $Y_2 - FC$ | — | Передний зазор: расстояние от передней стороны руки до переднего контура рукава внизу рукава на профильном виде |
| $Y_1 - FD$ | — | Расстояние от тыльной стороны кисти до бокового контура рукава на виде спереди |
| FNP | — | Передняя шейная точка |
| Fold 1–Fold 4 | — | Количество складок на четырех участках рукава |
| $Y_4 - Folds$ | — | Общее количество складок на рукаве |
| $FSNP$ | — | Передняя плечево-шейная точка |
| FSP | — | Передняя плечевая точка |
| FSS | — | Линия плечевого ската переда |
| $X_9 - FSW$ | — | Ширина передней части рукава |
| FW | — | Ширина переда |
| FWG | — | Ширина талии переда |
| G | — | Обхват груди |
| $H, H_S, H_C,$ H_U, H_W, H_H, H_F, H_B | — | Проекционные параметры высоты тела |
| $X_{12} - i$ | — | Разность между передней и задней частями рукава на линии обхвата верхней части руки |
| $X_{13} - j$ | — | Разность между передней и задней частями рукава на уровне низа рукава |
| $L(A)$ | — | Область, связанная с проймой |

| | | |
|--|---|--|
| L(B) | — | Область спинки стана |
| L(F) | — | Область переда стана |
| MARE | — | Средняя абсолютная относительная ошибка |
| MD | — | Среднее отклонение |
| MD _A | — | Среднее отклонение угловых параметров |
| MD _D | — | Среднее отклонение профильных глубин |
| MD _H | — | Среднее отклонение высотных параметров |
| MD _W | — | Среднее отклонение фронтальных ширин |
| X ₁₁ - Offset(SCL) | — | Смещение средней линии рукава вперед |
| RB | — | Реальное тело; вектор его проекционных параметров |
| RC | — | Реальное пальто; вектор его проекционных параметров |
| RC _{S1...S4} | — | Реальные пальто в объемно-силуэтных категориях S1...S4 |
| RD | — | Относительное отклонение |
| RE | — | Относительная ошибка |
| S1...S4 | — | Множество объемно-силуэтных категорий: S1 Fit, S2 Semi-fit, S3 Semi-loose, S4 Loose |
| SCL | — | Средняя линия рукава |
| SD | — | Стандартное отклонение |
| SNP | — | Боковая шейная точка |
| SP | — | Плечевая точка |
| UAP | — | Подмышечная точка |
| VB | — | Виртуальный аватар Style3D; вектор его проекционных параметров |
| VC | — | Виртуальное пальто Style3D; вектор его проекционных параметров |
| VC _{S1...S4} | — | Виртуальные пальто VC в объемно-силуэтных категориях S1–S4 |
| W1'...W3' | — | Приращения воздушного зазора по полной ширине на уровне AL |
| W1...W3 | — | Приращения воздушного зазора по полной ширине на уровне EL |
| W' _C , W' _W , W' _H , W' _A , W' _E , W' _{Wr} , W' _S | — | Фронтальные проекционные параметры ширины внешнего контура пальто |
| WF = {W _S , W _C , W _W , W _H , W _A , W _E , W _{Wr} } | — | Проекционный вектор ширин тела, сгенерированного ИИ |
| W _R = {W _S , W _C , W _W , W _H , W _A , W _E , W _{Wr} } | — | Проекционный вектор ширин реального тела |
| W _S , W _C , W _W , W _H , W _A , W _E , W _{Wr} | — | Фронтальные проекционные параметры ширины тела |
| Y ₁ –Y ₄ | — | Переменные формы рукава: FD, FC, a-b и Folds |
| Y ₃ - a-b | — | Абсолютная разность между расстояниями a и b; показатель согласованности кривизны рукава |

| | | |
|---|---|--|
| $\angle 1$ | — | Угол между локтевой линией рукава и горизонтальной линией |
| $\angle 2$ | — | Угол между SCL и вертикальной линией |
| $\angle A$ | — | Угловой параметр внешнего контура пальто |
| $\angle B$ | — | Угол между задней средней линией и линией низа спинки |
| $X_5 - \angle BA$ | — | Угол между задней плечевой линией и средней линией задней части рукава |
| $X_1 - \angle BSS$ | — | Угол наклона плечевой линии спинки |
| $\angle E, \angle 1, \angle 3$ | — | Угловые параметры позы и формы тела |
| $\angle F$ | — | Угол между передней средней линией и линией низа переда |
| $X_6 - \angle FA$ | — | Угол между передней плечевой линией и средней линией передней части рукава |
| $X_2 - \angle FSS$ | — | Угол наклона плечевой линии переда |
| $\angle S'$ | — | Угловой параметр внешнего контура плечевой области пальто |
| $X_7 - \Delta(\angle BA + \angle FA)$ | — | Сумма заднего и переднего плечево-рукавных углов |
| $X_4 - \Delta(\angle BSS + \angle FSS)$ | — | Сумма заднего и переднего плечевых углов |
| $X_3 - \Delta(\angle BSS - \angle FSS)$ | — | Разность между задним и передним плечевыми углами |
| $X_{10} - \Delta(BSW - FSW)$ | — | Разность между шириной задней и передней частей рукава |
| $X_{14} - \Delta(i-j)$ | — | Разность между параметрами i и j |
| $\Delta 1$ | — | Отклонение между RB и VB |
| $\Delta 2$ | — | Отклонение между RB и AIB _A |
| $\Delta 3$ | — | Отклонение между RB и AIB _B |
| $\Delta 4$ | — | Отклонение между RB и AIB _C |
| $\Delta 5$ | — | Отклонение между AIB _B и AIB _C |
| $\Delta 6$ | — | Отклонение между VC и RC |
| $\Delta 7$ | — | Отклонение между AIC и RC |
| $\Delta_{AIC, S1...S4}$ | — | Отклонение между AIC и RC в категориях S1...S4 |
| $\Delta_{VC, S1...S4}$ | — | Отклонение между VC и RC в категориях S1...S4 |
| ΔW_i^{AL} | — | Обобщенное приращение воздушного зазора по полной ширине между соседними |

ΔW_i^{EL} — объемно-силуэтными группами на уровне AL
 Обобщенное приращение воздушного зазора по
 полной ширине между соседними
 объемно-силуэтными группами на уровне EL

Примечание. Индексы *S*, *C*, *W*, *H*, *A*, *E* и *Wr* обозначают соответственно уровни плеча, груди, талии, бедер, проймы или верхней части руки, локтя и запястья; штрих (') обозначает параметры внешнего контура пальто. Обозначение Δ указывает на разность или отклонение, а \angle обозначает угловой параметр

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Aldrich, W. *Metric Pattern Cutting for Menswear* / W. Aldrich // Wiley-Blackwell, 2011. – 208 p.
2. Armstrong, H.J. *Patternmaking for Fashion Design* / H.J. Armstrong // Pearson Education, 2009. – xi, 819 p.
3. Zhang, J. Research on the fit raglan sleeve based on the armhole depth and the connection point between body and sleeve / J. Zhang, M. Zhao // *International Journal of Clothing Science and Technology*, 2021, 33(5), pp. 774–795. doi: 10.1108/IJCST-07-2020-0105.
4. Fujii, C. Effects of combinations of patternmaking methods and dress forms on garment appearance / C. Fujii, M. Morooka, S. Yamada // *AUTEX Research Journal*, 2017, 17(3), pp. 277–286. doi: 10.1515/aut-2016-0020.
5. Hakeem, F. *Expand and Compare the Use of Different Digital Fashion Technologies in Simulation Three-Dimensional Structured Designs: PhD dissertation* / F. Hakeem // LSU Doctoral Dissertations, 2023. doi: 10.31390/gradschool_dissertations.6100.
6. Dai, X. Fabric mechanical parameters for 3D cloth simulation in apparel CAD: A systematic review / X. Dai, Y. Hong // *Computer-Aided Design*, 2024, 167, 103638. doi: 10.1016/j.cad.2023.103638.
7. Baria, B. Transformative effect of 3D sampling technology for the ready-made garment industry: a review / B. Baria, M.A. Shahid, A. Misra, M.B. Hoque, M.M. Rahman, M.D. Hossain, D. Das // *Textile Research Journal*, 2025, p. 00405175251360399. DOI: 10.1177/00405175251360399.
8. Liu, X. Research on improving the efficiency of garment sample production process based on virtual simulation technology / X. Liu, N. Zhong // *AIVRID 2025: 2025 International Conference on Artificial Intelligence, Virtual Reality and Interaction Design*. DOI: 10.1145/3777730.3777792.
9. Zangue, M. Virtual fit and physical fit: virtual material and garment calibration / M. Zangue, B. Promayon, S. Bouterf, A. Magnenat-Thalmann // *3DBODY.TECH 2020 – 11th International Conference and Exhibition on 3D Body Scanning and Processing Technologies*. DOI: 10.15221/20.21.
10. Zhu, L. TryOnDiffusion: A Tale of Two UNets / L. Zhu, D. Yang, T. Zhu [et al.] // *Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 2023. DOI: 10.1109/CVPR52729.2023.00447.

11. Morelli, D. LaDI-VTON: Latent Diffusion Textual-Inversion Enhanced Virtual Try-On / D. Morelli, A. Baldrati, G. Cartella, M. Cornia, M. Bertini, R. Cucchiara // Proceedings of the 31st ACM International Conference on Multimedia (MM '23), Ottawa, ON, Canada, October 29–November 3, 2023, pp. 8580–8589. DOI: 10.1145/3581783.3612137.
12. Islam, T. Deep Learning in Virtual Try-On: A Survey / T. Islam [et al.] // IEEE Access, 2024, 12, pp. 29475–29502. DOI: 10.1109/ACCESS.2024.3368612.
13. Shim, H. Quantitative analysis of fabric parameters affecting 3D garment simulation / H. Shim, N. Cho, S. Ku, J. Lee, G. Cho // ACS Omega, 2022, 7(46), pp. 42150–42162. DOI: 10.1021/acsomega.2c06302.
14. Hu, Y. Dynamic garment pressure and air gap thickness for multi-layer clothing system / Y. Hu, X. Li, Y. Li, X. Cheng, D. Yang // Textile Research Journal, 2019, 89(19–20), pp. 4148–4161. DOI: 10.1177/0040517519826930.
15. Kazlacheva, Z. A study on pattern making of sleeves with curved shoulders / Z. Kazlacheva // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2021, 1031(1):012024. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1031/1/012024>
16. Lee, E.-J. Visual image evaluation of 3D virtual clothing with raglan sleeves for plus-size women / E.-J. Lee // The Research Journal of the Costume Culture, 2025, 33(1), pp. 111–127. <https://doi.org/10.29049/rjcc.2025.33.1.111>
17. Lee, Y.-J. A Study on Based on the Possibility of Quantitative Analysis using Virtual Clothing Simulation according to Raglan Sleeve Pattern Types / Y.-J. Lee // Korean Journal of Human Ecology, 2012, 21(2), pp. 299–314. <https://doi.org/10.5934/KJHE.2012.21.2.299>
18. Yi, K.-H. A comparative study on the raglan-sleeve patterns according to the construction factors (II): Focused on the evaluation of the developed sleeve pattern / K.-H. Yi // Journal of the Korean Society of Costume, 2003, 53(8), pp. 1–10.
19. Liu, J. Research on women's fitting raglan sleeve structure design [Master's thesis, Donghua University], 2014.
20. Zhang, W.B. Clothing structure design // Beijing: China Textile & Apparel Press, 2006, pp. 36, 37.
21. Liu, R.P. Principles and application of men's clothing paper pattern design // Beijing: China Textile Press, 2017, pp. 35, 36.

22. Xiong, X. The world's classic clothing design and paper pattern // Nanchang: Jiangxi Fine Arts Publishing House, 2007, pp. 122–123.
23. Zhao, X. Research on correlation of raglan sleeve modeling and sleeve angle / X. Zhao // Wool Textile Journal, 2017, 45(11), pp. 42–46.
24. Huỳnh Thị Kim Phiến. Giáo trình thiết kế trang phục IV [M]. Tp. Hồ Chí Minh: Đại học Sư phạm Kỹ thuật Tp. HCM, 2007. 64 p.
25. Kuzmichev, V. Clothing Design in the Era of Artificial Intelligence / V. Kuzmichev // Journal of Computer and Communications, 2025, 13(5), pp. 121–136. <https://doi.org/10.4236/jcc.2025.135008>
26. Mao, X.L. Brief analysis of the adaptation method between raglan sleeve and garment body / X.L. Mao // Guangdong Canye, 2018, 52(11), pp. 115–117.
27. Zhao, X. Research on correlation of raglan sleeve modeling and sleeve angle / X. Zhao, T. He // Wool Textile Journal, 2017, 45(11), pp. 42–46.
28. Hong, M. A study on raglan sleeve based on inclination of sleeve centre line and bust ease / M. Hong // Unpublished report, 2015.
29. Kazlacheva, Z. A study on pattern making of sleeves with curved shoulders / Z. Kazlacheva // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2021, 1031(1):012024. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1031/1/012024>
30. Li, Y. Sablina, E. Devising the up-to-date method pattern making of female apparel with raglan sleeve / Y. Li, V.E. Kuzmichev, E. Sablina // Journal of Wuhan University of Science and Engineering, 2004, 17(6), pp. 1–6.
31. Gu, B., Su, J., Liu, G., Xu, B. Pattern alteration of women's suits based on ease distribution / B. Gu, J. Su, G. Liu, B. Xu // International Journal of Clothing Science and Technology, 2016, 28(2). <https://doi.org/10.1108/IJCST-07-2015-0083>
32. Gill, S., Hayes, S., Conlon, J. Evolving pattern practice, from traditional patterns to bespoke parametric blocks / S. Gill, H. Al, S. Hayes, J. Conlon // International Journal of Fashion Design, Technology and Education, 2023, 17(2), pp. 144–161. <https://doi.org/10.1080/17543266.2023.2260829>
33. Wei, J. A study on the structural design method of fitting raglan sleeves for women's wear and the automatic generation system for pattern (Unpublished master's thesis) / J. Wei // Donghua University, 2011.

34. Lou, Y.F. Wei, J.L. Research on the parameters of women's fitting raglan sleeve / Y.F. Lou, Z.F. Zhang, J.L. Wei // *Journal of Wuhan Textile University*, 2014, 27(2), pp. 39–41.
35. Liang, Z.Y. Analysis of sleeve setting angle parameters for fitted raglan sleeves / Z.Y. Liang, Z.H. Yin // *Liaoning Silk*, 2023, (2), pp. 33–35.
36. Liu, N. Study on the form-fitting raglan sleeve comfort based on sleeves and pieces join point position / N. Liu, X. Ren // *Journal of Henan Institute of Engineering (Natural Science Edition)*, 2015, 27(4), pp. 22–25, 34.
37. Huang, W.W. Dress fit raglan sleeve structure design research / W.W. Huang // *Textile Reports*, 2017, pp. 64–65.
38. Wu, G.D. Discussion on the structure design and application of two-piece raglan sleeve / G.D. Wu // *China Science & Technology Overview*, 2018, (24), pp. 58–59.
39. Zhou, X.. The relationship between armhole depth of raglan sleeve and its shape / X. Zhou, L. Zhou // *Textile Science and Technology Progress*, 2017, (5), pp. 48–51.
40. Kim, H. A Study on the Changes of Power Shoulder Shape in Contemporary Fashion / H. Kim, S.J. Bae // *Journal of Fashion Business*, 2016, 20(1), pp. 157–172. <https://doi.org/10.12940/JFB.2016.20.1.157>
41. Park, J. A study on the shoulder composition methods of power shoulder jackets and corresponding details / J. Park, J. Lee // *The Research Journal of the Costume Culture*, 2021, 29(3), pp. 388–405. <https://doi.org/10.29049/rjcc.2021.29.3.388>
42. Lee, S.-B. Body compensation image on power shoulder raglan sleeve jacket according to the shoulder height and width / S.-B. Lee, M.-A. Suh, M.-K. Uh // *The Research Journal of the Costume Culture*, 2015, 23(1), pp. 117–125. <https://doi.org/10.7741/RJCC.2015.23.1.117>
43. Huang, Y. Study on the position of body-sleeve juncture in raglan sleeve / Y. Huang // *Journal of Zhejiang Fashion Institute of Technology*, 2011, (4), pp. 21–24.
44. Liu, M.H. Research on pattern-making for close fitting raglan sleeve based on set-in sleeve / M.H. Liu, Y.X. Zhao // *Journal of Beijing Institute of Clothing Technology*, 2013, 33(1), pp. 7–15.
45. Zhang, D. Based on the sleeves rotation principle of women's fitting raglan sleeve structure design / D. Zhang, Y. Liu // *Journal of Beijing Institute of Clothing Technology*, 2016, 36(3), pp. 9–14.

46. Monobe, A. Effect of the difference between body dimensions and jacket measurements on the appearance of a ready-made tailored jacket / A. Monobe, K. Kim, M. Takatera // *International Journal of Clothing Science and Technology*, 2017, 29(5), pp. 627–645.
47. Kim, K.O. Effect of bust line position on appearance of upper garment / K.O. Kim, M. Sakaguti, M. Takatera // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2017, 254, p. 172014.
48. Yu, W.M. Assessment of garment fit / W.M. Yu, K.W. Yeung, Y.L. Lam // *Proceedings of HKITA and CTES Conference on Hand-in-hand Marching into the 21st Century*, 1998, pp. 1125–129.
49. Gu, B. Individualizing women's suit patterns using body measurements from two-dimensional images / B. Gu, G. Liu, B. Xu // *Textile Research Journal*, 2017, 87(6), pp. 669–681.
50. Saygili, B. Determination of Body-Clothing Pattern Fit Problems In Men's Jacket and Pattern Proposal / B. Saygili, Ş. Çivitci // *Journal of Textile & Apparel/Tekstil ve Konfeksiyon*, 2015, 25(3), pp. 270–279.
51. Huck, J. Protective overalls: Evaluation of clothing design and fit / J. Huck, O. Maganga, Y. Kim // *International Journal of Clothing Science and Technology*, 1997, 9(1), pp. 45–61.
52. Guo, M.N. Pressure and comfort perception in the system “female body–dress” / M.N. Guo, V.E. Kuzmichev // *AUTEX Research Journal*, 2013, 13(3), pp. 71–78.
53. Lage, A. Virtual try-on technologies in the clothing industry. Part 1: investigation of distance ease between body and garment / A. Lage, K. Ancutiene // *The Journal of The Textile Institute*, 2017, 108(10), pp. 1787–1793.
54. Liu, K. Wearing comfort analysis from aspect of numerical garment pressure using 3D virtual-reality and data mining technology / K. Liu, J. Wang, Y. Hong // *International Journal of Clothing Science and Technology*, 2017, 29(2), pp. 166–179.
55. Liu, R. Creative structure of split raglan sleeve / R. Liu // *China Textile Leader*, 2017, (9), pp. 77–78.
56. Lee, E.-J. Visual image evaluation of 3D virtual clothing with raglan sleeves for plus-size women / E.-J. Lee // *The Research Journal of the Costume Culture*, 2025, 33(1), pp. 111–127. <https://doi.org/10.29049/rjcc.2025.33.1.111>

57. Liu, N. Study on the form-fitting raglan sleeve comfort based on sleeves and pieces join point position / N. Liu, X. Ren // *Journal of Henan Institute of Engineering (Natural Science Edition)*, 2015, 27(4), pp. 22–25, 34.
58. Jing, Z. Research on the fit raglan sleeve based on the armhole depth and the connection point between body and sleeve / Z. Jing, Z.M. Hua // *International Journal of Clothing Science and Technology*, 2021, 33(5), pp. 774–795. <https://doi.org/10.1108/IJCST-07-2020-0105>
59. Kazlacheva, Z. A study on pattern making of sleeves with curved shoulders / Z. Kazlacheva // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2021, 1031(1):012024. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1031/1/012024>
60. Liu, J. Research on women's fitting raglan sleeve structure design [Master's thesis, Donghua University], 2014.
61. Shi, H. Duan, T. Advances in personalized modelling and virtual display of ethnic clothing for intelligent customization / H. Shi, J. Yu, T. Duan // *Autex Research Journal*, 2024, 24(1). <https://doi.org/10.1515/aut-2023-0040>
62. Gu, B. 3D female upper body modelling based on 2D images / B. Gu, M. Kawysar, Z. Zhong, J. Jin // *International Journal of Clothing Science and Technology*, 2020, 32(4), pp. 471–482. doi: 10.1108/IJCST-03-2019-0042.
63. Idrees, S. Mobile 3D body scanning applications: a review of contact-free AI body measuring solutions for apparel / S. Idrees, S. Gill, G. Vignali // *The Journal of The Textile Institute*, 2023, 115(7), pp. 1161–1172. doi: 10.1080/00405000.2023.2216099.
64. Sun, K. Automation of 3D average human body shape modeling using Rhino and Grasshopper Algorithm / K. Sun, H. Kyung // *Fashion and Textiles*, 2021, 8(1). doi: 10.1186/s40691-021-00249-6.
65. Wang, T. Automatic recognition and 3D modeling of the neck-shoulder human shape based on 2D images / T. Wang, B. Gu // *International Journal of Clothing Science and Technology*, 2021, 33(5), pp. 796–810. doi: 10.1108/IJCST-05-2020-0079.
66. Chen, Y., Hou, Q., Hong, Y. & Gao, W. (2023). Automatic Identification of Wrist Position in a Virtual Environment for Garment Design. *Autex Research Journal*, 23(2), 253-265. <https://doi.org/10.2478/aut-2021-0054>

67. Sun, J. Body shape classification and block optimization based on space vector length / J. Sun, Q. Cai, T. Li, L. Du, F. Zou // *International Journal of Clothing Science and Technology*, 2019, 31(1), pp. 115–129. doi: 10.1108/IJCST-07-2018-0089.
68. Ryu, E.J. Automatic extraction of upper body landmarks using rhino and grasshopper algorithms / E.J. Ryu, H.K. Song // *Fashion and Textiles*, 2022, 9(1), p. 36. doi: 10.1186/s40691-022-00302-y.
69. Chi, C. Bruniaux, P., Tartare, G., Jin, H. A new parametric 3D human body modeling approach by using key position labeling and body parts segmentation / C. Chi, X. Zeng, P. Bruniaux, G. Tartare, H. Jin // *Textile Research Journal*, 2022, 92(19–20), pp. 3653–3679. doi: 10.1177/00405175221089688.
70. Xia, M.. Quantitative analysis of the relationship between the Male body shape and block pattern based on the three-dimensional human model / M. Xia, H. Lu, X. Xu, L. Zhang // *Textile Research Journal*, 2024, 94(3–4), pp. 323–340. doi: 10.1177/00405175231204375.
71. Song, D. Kankanhalli, M., Liu, A. Image-Based Virtual Try-On: A Survey / D. Song, X. Zhang, J. Zhou, W. Nie, R. Tong, M. Kankanhalli, A. Liu // *International Journal of Computer Vision*, 2024, 133(5), pp. 2692–2720. doi: 10.1007/s11263-024-02305-2.
72. Kulińska, M. Block pattern design system using 3D zoning method on digital environment for fitted garment / M. Kulińska, M. A, P. Bruniaux, X. Zeng // *Textile Research Journal*, 2022, 92(23–24), pp. 4978–4993. doi: 10.1177/00405175221114164.
73. Bao, C. 3D interactive garment parametric pattern-making and linkage editing based on constrained contour lines / C. Bao, Y. Miao, B. Gu, K. Liu, Z. Liu // *International Journal of Clothing Science and Technology*, 2021, 33(5), pp. 696–723. doi: 10.1108/IJCST-09-2020-0137.
74. Zhang, J. Upper garment 3D modeling for pattern making / J. Zhang, N. Innami, K. Kim, M. Takatera // *International Journal of Clothing Science and Technology*, 2015, 27(6), pp. 852–869. doi: 10.1108/IJCST-01-2015-0003.
75. Luo, X. 3D sweater garment style generation based on 3D anthropometric characteristic parameters / X. Luo, D. Li, J. Yuan // *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, 2024, 19, 15589250231222620. doi: 10.1177/15589250231222620.
76. Huang, H. Block pattern generation: From parameterizing human bodies to fit feature-aligned and flattenable 3D garments / H. Huang, P. Mok, Y. Kwok, J. Au // *Computers in Industry*, 2012, 63(7), pp. 680–691. doi: 10.1016/j.compind.2012.04.001.

77. Sun, N. Innovative Application of Modularized Virtual Interaction Design Technology in Clothing Design / N. Sun, T. Sun, B. Cao, X. Mu // *Applied Mathematics and Nonlinear Sciences*, 2024, 9(1). doi: 10.2478/amns-2024-1190.
78. Ren, X. Research on 3D simulation design and dynamic virtual display of clothing flexible body / X. Ren, S. Niu, X. Huang // *Autex Research Journal*, 2024, 24(1). doi: 10.1515/aut-2023-0042.
79. Kochanova, N. Development of pattern block shaping in accordance with the real sleeve-in shapes / N. Kochanova, V. Kuzmichev, D.C. Adolphe // *Proceedings of the 3rd International Conference on 3D Body Scanning Technologies*, Lugano, Switzerland, 16–17 October 2012, pp. 343–347. doi: 10.15221/12.343.
80. Lagè, A. Virtual try-on technologies in the clothing industry. Part 1: Investigation of distance ease between body and garment / A. Lage, K. Ancutiene // *The Journal of The Textile Institute*, 2017, 108(10), pp. 1787–1793. doi: 10.1080/00405000.2017.1286701.
81. Lagè, A. Virtual try-on technologies in the clothing industry: Basic block pattern modification / A. Lagè, K. Ancutiene // *International Journal of Clothing Science and Technology*, 2019, 31(6), pp. 729–740. doi: 10.1108/IJCST-11-2018-0140.
82. Wang, Z. Prediction of garment fit level in 3D virtual environment based on artificial neural networks / Z. Wang, J. Wang, X. Zeng, S. Sharma, Y. Xing, S. Xu, L. Liu // *Textile Research Journal*, 2021, 91(15–16), pp. 1713–1731. doi: 10.1177/0040517520987520.
83. Jing, Z. Research on the fit raglan sleeve based on the armhole depth and the connection point between body and sleeve / Z. Jing, Z.M. Hua // *International Journal of Clothing Science and Technology*, 2021, 33(5), pp. 774–795. doi: 10.1108/IJCST-07-2020-0105.
84. Teyeme, Y. Fit and Pressure Comfort Evaluation on a Virtual Prototype of a Tight-Fit Cycling Shirt / Y. Teyeme, B. Malengier, T. Tesfaye, S. Vasile, L. Van // *Autex Research Journal*, 2023, 23(2), pp. 153–163. doi: 10.2478/aut-2021-0057.
85. Islam, T. Deep Learning in Virtual Try-On: A Comprehensive Survey / T. Islam, A. Miron, X. Liu, Y. Li // *IEEE Access*, 2024, 12, pp. 29475–29502. doi: 10.1109/ACCESS.2024.3368612.
86. Xu, X. Color analysis and performance optimization of 3D virtual simulation knitted fabrics / X. Xu // *Autex Research Journal*, 2025, 25(1). doi: 10.1515/aut-2025-0030.

87. Lagè, A. Virtual try-on technologies in the clothing industry. Part 1: Investigation of distance ease between body and garment / A. Lage, K. Ancutiene // *The Journal of The Textile Institute*, 2017, 108(10), pp. 1787–1793. doi: 10.1080/00405000.2017.1286701.
88. Jagelčáková, L. Virtual fit evaluation for optimization of garment component's parameters / L. Jagelčáková, E. Tokarčíková // *Applied Sciences*, 2024, 14(5), p. 2122. doi: 10.3390/app14052122.
89. Lagè, A. Virtual try-on technologies in the clothing industry: basic block pattern modification / A. Lagè, K. Ancutiene // *International Journal of Clothing Science and Technology*, 2019, 31(6), pp. 729–740. doi: 10.1108/IJCST-11-2018-0140.
90. Lagè, A. Pukienė, R., Lapkovska, E., Dāboliņa, I. Comparative Study of Real and Virtual Garments Appearance and Distance Ease / A. Lagè, K. Ancutiene, R. Pukienė, E. Lapkovska, I. Dāboliņa // *Materials Science*, 2020, 26(2), pp. 233–239. doi: 10.5755/j01.ms.26.2.22162.
91. GB/T 10000-2023. Human dimensions of Chinese adults. Beijing: Standards Press of China, 2023.
92. ISO 7250-1:2017. Basic human body measurements for technological design — Part 1: Body measurement definitions and landmarks. Geneva: International Organization for Standardization, 2017.
93. GOST 31399-2009. Classification of standard men's figures by heights, sizes and full-bodied groups for projection of clothes. Moscow: Standartinform, 2011.
94. Choi, W. Developing an AI-based automated fashion design system: reflecting the work process of fashion designers / W. Choi, S. Jang, H.Y. Kim, Y. Lee, S. Lee, H. Lee, S. Park // *Fashion and Textiles*, 2023, 10(1), article 39. doi: 10.1186/s40691-023-00360-w.
95. Wu, X., & Li, L. (2024). An application of generative AI for knitted textile design in fashion. *The Design Journal*, 27(2), 270-290. <https://doi.org/10.1080/14606925.2024.2303236>
96. Yin, N. Ching, W. A novel approach in predicting virtual garment fitting sizes with psychographic characteristics and 3D body measurements using artificial neural network and visualizing fitted bodies using generative adversarial network / N. Yin, P. Wai, A. Pun, K.Y. C., W. Ching // *Heliyon*, 2023, 9(7), e17916. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e17916>

97. Oh, J. Automatic generation of parametric patterns from grading patterns using artificial intelligence / J. Oh, S. Kim // *International Journal of Clothing Science and Technology*, 2023, 35(6), pp. 889-903. <https://doi.org/10.1108/IJCST-07-2022-0102>
98. Danner, M. AI-assisted Pattern Generator for Garment Design / M. Danner, E. Brake, G. Kosel, Y. Kyosev, K. Rose, M. Rätzsch, H. Cebulla // *Communications in Development and Assembling of Textile Products*, 2024, 5(2), pp. 195–206. <https://doi.org/10.25367/cdatp.2024.5.p195-206>
99. Ghodhbani, H. You can try without visiting: a comprehensive survey on virtually try-on outfits / H. Ghodhbani, M. Neji, I. Razzak, M. A // *Multimedia Tools and Applications*, 2022, 81(14), pp. 19967–19998. <https://doi.org/10.1007/s11042-022-12802-6>
100. Chenghu, D. Multi-Pose Virtual Try-On Via Self-Adaptive Feature Filtering / C. Chenghu, F. Yu, M. Jiang, X. Wei, T. Peng, X. Hu // *ICASSP 2022*, pp. 2544–2548. <https://doi.org/10.1109/ICASSP43922.2022.9747847>
101. He, W. VTON360: High-fidelity virtual try-on from any viewing direction / W. He, X. Sun, Y. Shen, J. Yu, C. Lu // *Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 2025. <https://doi.org/10.1109/CVPR.2025>
102. Rombach, R. High-resolution image synthesis with latent diffusion models / R. Rombach, A. Blattmann, D. Lorenz, P. Esser, B. Ommer // *Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 2022, pp. 10684–10695. <https://doi.org/10.1109/CVPR52688.2022.01044>
103. Li, X. Dress-1-to-3: Single image to simulation-ready 3D outfit with diffusion prior and differentiable physics / X. Li, C. Yu, W. Du, Y. Jiang, T. Xie, Y. Chen, Y. Yang, C. Jiang // *ACM Transactions on Graphics*, 2025, 44(4), pp. 1–16. <https://doi.org/10.1145/3731177>
104. Han, X. VITON: an image-based virtual try-on network / X. Han, Z. Wu, Z. Wu, R. Yu, L.S. Davis // *Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*.
105. Lee, H.J. LA-VITON: a network for looking-attractive virtual try-on / H.J. Lee, R. Lee, M. Kang, M. Cho, G. Park // *Proceedings of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision Workshops*, 2019. http://openaccess.thecvf.com/content_ICCVW_2019/html/CVFAD/Lee_LA-VITON_A_Network_for_Looking-Attractive_Virtual_Try-On_ICCVW_2019_paper.html?ref=https://githubhelp.com

106. Du, C. VTON-HF: High Fidelity Virtual Try-on Network via Semantic Adaptation / C. Du, F. Yu, Y. Chen, M. Jiang, X. Wei, T. Peng, X. Hu // 2021 IEEE 33rd International Conference on Tools with Artificial Intelligence (ICTAI), pp. 224–231. <https://doi.org/10.1109/ICTAI52525.2021.00038>
107. Zhou, P. Text-driven 3D human generation via contrastive preference optimization / P. Zhou, X. Shen, Y. Hu // arXiv preprint arXiv:2502.08977, 2025. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2502.08977>
108. Patel, M. TailorNet: Predicting clothing in 3D as a function of human pose, shape and garment style / M. Patel, S.K. Ramakrishnan, V. Jampani, C. Theobalt // Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2020, pp. 7365–7375. <https://doi.org/10.1109/CVPR42600.2020.00739>
109. Xu, H. Research on T-shirt-style design based on Kansei image using back-propagation neural networks / H. Xu, R. Ren, H. Chen // Autex Research Journal, 2023, 24(1). <https://doi.org/10.1515/aut-2023-0007>
110. Grigorev, A. HOOD: hierarchical graphs for generalized modelling of clothing dynamics / A. Grigorev, M.J. Black, O. Hilliges // 2023 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), pp. 16965–16974. <https://doi.org/10.1109/cvpr52729.2023.01627>
111. Li, P. Sorkine-Hornung, O. Neural Garment Dynamics via Manifold-Aware Transformers / P. Li, Y. T., T. Levent, D. Ceylan, O. Sorkine-Hornung // Computer Graphics Forum, 2024, 43(2). <https://doi.org/10.1111/cgf.15028>
112. Ghodhbani, H. A. You can try without visiting: a comprehensive survey on virtually try-on outfits / H. Ghodhbani, M. Neji, I. Razzak, M. A // Multimedia Tools and Applications, 2022, 81(14), pp. 19967–19998. <https://doi.org/10.1007/s11042-022-12802-6>
113. Wang, Z. Estimating human body dimensions using RBF artificial neural networks technology and its application in activewear pattern making / Z. Wang, J. Wang, Y. Xing, Y. Yang, K. Liu // Applied Sciences, 2019, 9(6), p. 1140. <https://doi.org/10.3390/app9061140>
114. Liu, K. Garment fit evaluation using neural networks technology / K. Liu, R. Wang, X. Hao, C. Zhu, S. Zhou, X. Zeng, X. Tao, P. Bruniaux, J. Wang // Journal of the Textile Institute, 2024, 115(4), pp. 562–572. <https://doi.org/10.1108/00405000.2023.2201526>

115. Li, T. GarTrans: Transformer-based architecture for dynamic and detailed garment deformation / T. Li, Z. Qiao, Z. Li, R. Shi, Q. Zhu // *Computational Visual Media*, 2025, pp. 1–18. <https://doi.org/10.26599/CVM.2025.9450448>
116. Deng, M. AI-driven innovation in ethnic clothing design: an intersection of machine learning and cultural heritage / M. Deng, Y. Liu, L. Chen // *Electronic Research Archive*, 2023, 31(9), pp. 5793–5814. <https://doi.org/10.3934/era.2023295>
117. Zhang, X. WarpDiffusion: Efficient diffusion model for high-fidelity virtual try-on / X. Zhang, X. Li, M. Kampffmeyer, X. Dong, Z. Xie, F. Zhu, H. Dong, X. Liang // *arXiv preprint arXiv:2312.03667*, 2023. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2312.03667>
118. Xing, J. TryOn-adapter: Efficient fine-grained clothing identity adaptation for high-fidelity virtual try-on / J. Xing, C. Xu, Y. Qian, Y. Liu, G. Dai, B. Sun, Y. Liu, J. Wang // *arXiv preprint arXiv:2404.00878*, 2024. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2404.00878>
119. Raut, A. Generative AI in vision: A survey on models, metrics and applications / A. Raut, S. Sengupta, A. Sharma, R. Banerjee // *arXiv preprint arXiv:2401.02658*, 2024. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2401.02658>
120. Bie, F. RenAIssance: A survey into AI text-to-image generation in the era of large model / F. Bie, Y. Yang, Z. Zhou, A. Ghanem, M. Zhang, Z. Yao, X. Wu, C. Holmes, P. Golnari, D.A. Clifton, Y. He, D. Tao, S.L. Song // *arXiv preprint arXiv:2309.00810*, 2023. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2309.00810>
121. Radford, A. Learning transferable visual models from natural language supervision / A. Radford, J.W. Kim, C. Hallacy, A. Ramesh, G. Goh, S. Agarwal, I. Sutskever // *Proceedings of the 38th International Conference on Machine Learning (ICML)*, 2021, 139, pp. 8748–8763.
122. Lei, H. CG-VTON: Controllable Generation of Virtual Try-On Images Based on Multimodal Conditions / H. Lei, X. Zhao, Y. Liang, Y. Cao // *IET Image Processing*, 2025, 19(1). <https://doi.org/10.1049/ipr2.70144>
123. Shim, G. GaussianMotion: End-to-end learning of animatable gaussian avatars with pose guidance from text / G. Shim, S. Lee, J. Choo // *arXiv preprint arXiv:2502.11642*, 2025. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2502.11642>
124. Cui, Y. FashionGAN: Display your fashion design using conditional generative adversarial networks / Y. Cui, Y. Song, C. Feng, Y. Yao, L. Lu, M.H. Yang // *Computer Graphics Forum*, 2018, 37(7), pp. 67–78. <https://doi.org/10.1111/cgf.13573>

125. Kim, J. StableVITON: Learning Semantic Correspondence with Latent Diffusion Model for Virtual Try-On / J. Kim, G. Gu, M. Park, S. Park, J. Choo // Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2024, pp. 8176–8185. DOI: 10.1109/CVPR52733.2024.00781.
126. Xu, Y. OOTDiffusion: Outfitting Fusion Based Latent Diffusion for Controllable Virtual Try-On / Y. Xu, T. Gu, W. Chen, A. Chen // Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence, 2025, 39(9), pp. 8996–9004. DOI: 10.1609/aaai.v39i9.32973.
127. Zhao, X. UniFashion: A Unified Vision-Language Model for Multimodal Fashion Retrieval and Generation / X. Zhao, Y. Zhang, W. Zhang, X.-M. Wu // Proceedings of the 2024 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing, 2024, pp. 1490–1507. DOI: 10.18653/v1/2024.emnlp-main.89.
128. Wang, Z. Image quality assessment: From error visibility to structural similarity / Z. Wang, A.C. Bovik, H.R. Sheikh, E.P. Simoncelli // IEEE Transactions on Image Processing, 2004, 13(4), pp. 600–612. <https://doi.org/10.1109/TIP.2003.819861>
129. 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.
130. 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.
131. 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.
132. 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.
133. 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.

134. 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.

135. Гниденко, А.В. Формализация и алгоритмизация процесса проектирования женской одежды с рукавами сложных покроев: диссертация кандидата технических наук / А.В. Гниденко // Ивановская государственная текстильная академия, Иваново, 2008, 171 с.

136. Кузьмичев, В.Е. Разработка конструктивно-антропометрического обеспечения процесса конструирования одежды / В.Е.Кузьмичев, И.В.Жукова, Н.А.Сахарова // Известия вузов. Технология текстильной промышленности, 2022, №6(402), с.143-148

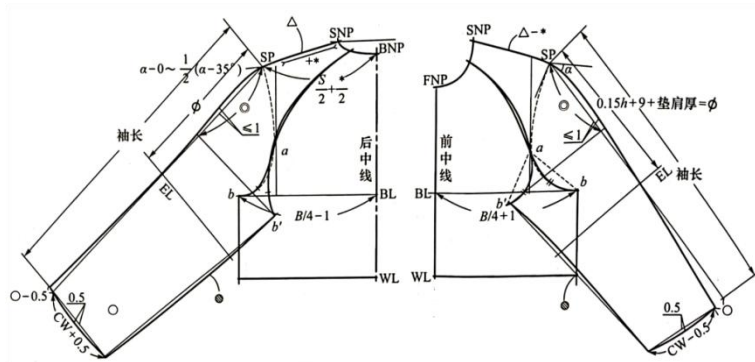
137. Кузьмичев, В.Е. Основы теории системного проектирования костюма / В.Е. Кузьмичев, Н.И. Ахмедулова, Л.П. Юдина // Москва, Юрайт, 2025, 260 с.

138. Xie, H. Structure-consistent customized virtual mannequin reconstruction from 3D scans based on optimization / H. Xie, Y. Zhong // Textile Research Journal, 2020, 90(7–8), pp. 937–950. doi: 10.1177/0040517519883957.

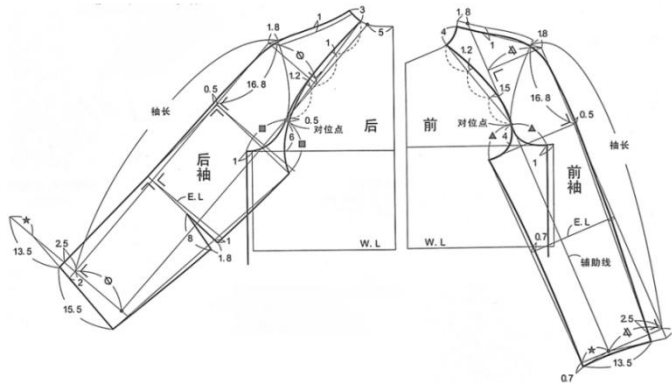
139. Bai, J. L., & Wang, X. M. Practical Garment Industrial Pattern Making [M]. Beijing: Beijing Institute of Technology Press, 2020: 45-48.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

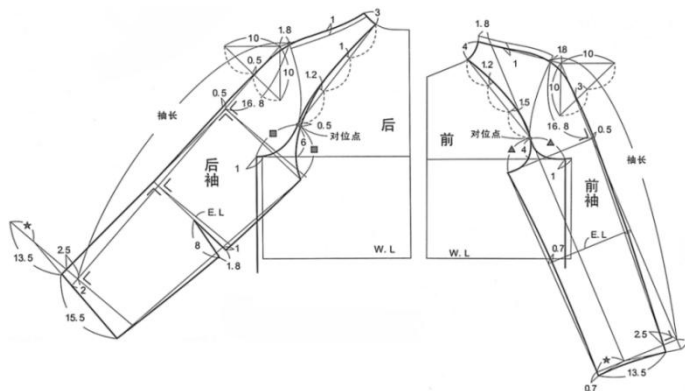
Дополнительные материалы по построению, параметризации и проверке
конструкции пальто реглан



а



б



в

Рисунок А.1 - Методы построения конструкции рукава реглан по китайским учебникам: а - Р4, б - Р5, в - Р6

Таблица А.1 - Конкретная количественная характеристика параметров конструкции (X_1 – X_{14}) и параметров формы (Y_1 – Y_4)

| No. | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | Y | Y | Y | Y |
|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|------|------|------|-----|-----|-----|-----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1 | 31.9 | 24.8 | 56.6 | 7.1 | 30.2 | 39.5 | 69.7 | 21.5 | 18.0 | 3.5 | 2.5 | 1.2 | -3.0 | -4.2 | 4.7 | 2.7 | 0.1 | 0.8 |
| 2 | 28.2 | 24.1 | 52.3 | 4.1 | 27.0 | 45.0 | 72.0 | 22.6 | 20.9 | 1.7 | 2.8 | 2.6 | 9.0 | 6.4 | 3.7 | 3.1 | 0.2 | 1.0 |
| 3 | 31.9 | 25.1 | 57.0 | 6.9 | 11.6 | 53.9 | 65.5 | 25.5 | 23.8 | 1.7 | 1.5 | 1.8 | 4.0 | 2.2 | 4.8 | 1.0 | 0.2 | 0.5 |
| 4 | 31.4 | 21.6 | 53.0 | 9.7 | 6.9 | 53.1 | 60.0 | 26.8 | 27.5 | -0.7 | 1.5 | -0.6 | -3.9 | -3.3 | 3.8 | 1.0 | 0.0 | 0.0 |
| 5 | 28.5 | 20.0 | 48.5 | 8.4 | 34.5 | 37.5 | 72.0 | 24.8 | 20.1 | 4.7 | 1.5 | 5.0 | 11.6 | 6.6 | 2.8 | 1.0 | 0.3 | 1.0 |
| 6 | 33.0 | 20.6 | 53.5 | 12.4 | 0.1 | 59.9 | 60.0 | 23.9 | 24.1 | -0.2 | 1.5 | 0.0 | 5.7 | 5.7 | 4.0 | 1.0 | 0.0 | 0.0 |
| 7 | 33.0 | 21.0 | 54.0 | 11.9 | 3.3 | 57.2 | 60.5 | 27.1 | 21.7 | 5.4 | 1.5 | 5.2 | 12.5 | 7.3 | 4.1 | 1.0 | 0.3 | 0.0 |
| 8 | 32.4 | 24.1 | 56.5 | 8.3 | 25.2 | 45.8 | 71.0 | 27.2 | 20.8 | 6.4 | 3.4 | 5.6 | 17.0 | 11.4 | 4.7 | 4.1 | 0.4 | 1.0 |
| 9 | 30.7 | 24.0 | 54.6 | 6.7 | 20.9 | 48.2 | 69.1 | 27.1 | 21.7 | 5.4 | 3.1 | 5.6 | 17.0 | 11.4 | 4.2 | 3.6 | 0.4 | 0.8 |
| 10 | 26.6 | 30.7 | 57.3 | -4.1 | 24.6 | 44.6 | 69.2 | 24.4 | 23.0 | 1.4 | 3.4 | 1.2 | 6.1 | 4.9 | 4.9 | 4.1 | 0.2 | 0.8 |
| 11 | 21.0 | 22.1 | 43.1 | -1.1 | 22.0 | 46.9 | 68.9 | 26.6 | 20.8 | 5.8 | 3.4 | 5.1 | 15.1 | 10.0 | 1.5 | 4.1 | 0.4 | 0.8 |
| 12 | 21.0 | 22.1 | 43.1 | -1.1 | 22.2 | 46.8 | 69.0 | 26.6 | 20.8 | 5.8 | 3.4 | 5.1 | 15.1 | 10.0 | 1.5 | 4.1 | 0.4 | 0.8 |
| 13 | 31.4 | 20.6 | 52.0 | 10.8 | 5.2 | 59.9 | 65.1 | 24.7 | 24.4 | 0.3 | 1.5 | 0.5 | 2.0 | 1.5 | 3.6 | 1.0 | 0.0 | 0.5 |
| 14 | 18.3 | 22.8 | 41.1 | -4.5 | 22.0 | 41.3 | 63.3 | 21.7 | 18.3 | 3.4 | 1.5 | 3.4 | 5.1 | 1.7 | 1.0 | 1.0 | 0.3 | 0.3 |
| 15 | 22.9 | 25.8 | 48.7 | -2.9 | 22.2 | 40.2 | 62.4 | 24.0 | 23.0 | 1.0 | 3.1 | 0.4 | 2.3 | 1.9 | 2.8 | 3.6 | 0.1 | 0.3 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|---------|----------|----------|----------|---------|---------|---------|---------|
| 16 | 30. 7 | 24. 0 | 54. 6 | 6.7 | 25. 7 | 45. 3 | 71. 0 | 27. 8 | 27. 8 | 0.0 | 3. 4 | -0. 7 | 1.8 | 2.5 | 4. 2 | 4. 1 | 0. 0 | 1. 0 |
| 17 | 30. 8 | 24. 4 | 55. 3 | 6.4 | 26. 0 | 45. 1 | 71. 1 | 28. 2 | 28. 2 | 0.0 | 3. 4 | -0. 4 | -1. 3 | -0. 9 | 4. 4 | 4. 1 | 0. 0 | 1. 0 |
| 18 | 21. 0 | 22. 1 | 43. 1 | -1. 1 | 21. 9 | 47. 1 | 69. 0 | 26. 6 | 26. 6 | 0.0 | 3. 4 | -0. 5 | -2. 5 | -2. 0 | 1. 5 | 4. 1 | 0. 0 | 0. 8 |
| 19 | 29. 9 | 20. 0 | 49. 9 | 9.8 | 13. 2 | 51. 1 | 64. 3 | 22. 4 | 22. 4 | 0.0 | 2. 1 | 0.0 | 1.7 | 1.7 | 3. 1 | 2. 0 | 0. 0 | 0. 4 |
| 20 | 27. 9 | 21. 9 | 49. 8 | 6.1 | 12. 5 | 48. 7 | 61. 2 | 28. 2 | 19. 9 | 8.3 | 1. 5 | 7.9 | 17. 1 | 9.2 | 3. 1 | 1. 0 | 0. 7 | 0. 1 |
| 21 | 18. 7 | 18. 7 | 37. 3 | 0.0 | 24. 5 | 39. 9 | 64. 4 | 27. 0 | 25. 0 | 2.0 | 2. 8 | 1.9 | 3.9 | 2.0 | 0. 1 | 3. 1 | 0. 1 | 0. 5 |
| 22 | 21. 0 | 22. 1 | 43. 1 | -1. 1 | 22. 0 | 40. 4 | 62. 4 | 26. 6 | 25. 4 | 1.2 | 2. 8 | 1.2 | 3.2 | 2.0 | 1. 5 | 3. 1 | 0. 2 | 0. 3 |
| 23 | 29. 0 | 24. 0 | 53. 0 | 5.0 | 22. 0 | 40. 4 | 62. 4 | 27. 8 | 23. 4 | 4.4 | 3. 5 | 4.8 | 13. 6 | 8.8 | 3. 8 | 4. 3 | 0. 3 | 0. 3 |
| Min | 18. 3 | 18. 7 | 37. 3 | -4. 5 | 0.1 | 37. 5 | 60. 0 | 21. 5 | 18. 0 | -0. 7 | 1. 5 | -0. 7 | -3. 9 | -4. 2 | 0. 1 | 1. 0 | 0. 0 | 0. 0 |
| MA X | 33. 0 | 30. 7 | 57. 3 | 12. 4 | 34. 5 | 59. 9 | 72. 0 | 28. 2 | 28. 2 | 8.3 | 3. 5 | 7.9 | 17. 1 | 11. 4 | 4. 9 | 4. 3 | 0. 7 | 1. 0 |
| AV | 27. 3 | 23. 0 | 50. 1 | 4.5 | 19. 2 | 47. 0 | 66. 2 | 25. 6 | 23. 0 | 2.8 | 2. 5 | 2.5 | 6.7 | 4.2 | 3. 1 | 2. 7 | 0. 2 | 0. 5 |

Таблица А.2 - Измерения параметров а, b, с и $(d_F + d_B)/2$ для реальных (R) и виртуальных (V) образцов трёх прототипов

| Прототип | Ткань | | $a_F, ^\circ$ | $b_B, ^\circ$ | с, количество | $(d_F+d_B)/2,$ см |
|----------|-------|---|---------------|---------------|------------------|----------------------|
| P1 | F1 | V | 90.8 | 90 | 0 | 0.6 |
| | | R | 90.2 | 88.1 | 0 | 0.7 |
| | F2 | V | 90.7 | 90.6 | 0 | 0.6 |
| | | R | 91.5 | 90 | 0 | 0.6 |
| | F3 | V | 95.1 | 91 | 0 | 0.7 |
| | | R | 90.5 | 91.8 | 0 | 0.7 |
| P2 | F1 | V | 98 | 92.5 | 0 | 1.5 |
| | | R | 96.6 | 95.6 | 1 | 2.1 |

| | | | | | | |
|----|----|---|-------|-------|---|-----|
| | F2 | V | 101 | 90.5 | 0 | 1.7 |
| | | R | 101.6 | 93.7 | 1 | 1.9 |
| | F3 | V | 99.1 | 95.4 | 0 | 2.5 |
| | | R | 94.2 | 91.8 | 0 | 2.3 |
| P3 | F1 | V | 104.5 | 99.6 | 0 | 2.3 |
| | | R | 104.8 | 100.1 | 1 | 2.4 |
| | F2 | V | 103.9 | 99.4 | 0 | 2.8 |
| | | R | 102.1 | 92.5 | 1 | 2.8 |
| | F3 | V | 106.2 | 98.7 | 0 | 3 |
| | | R | 105.7 | 100 | 0 | 2.7 |

Таблица А.3 - Описательная статистика углов формы руки

| Индекс | ∠1, градус | | | | ∠2, градус | | | |
|--------|------------|-----|-----|------|------------|------|------|------|
| | Y | A | B | C | Y | A | B | C |
| 88 | 13.4 | 9.5 | 7.3 | 9.1 | 15.7 | 11.1 | 10.6 | 11.6 |
| 92 | 10.5 | 9.3 | 7.7 | 8.9 | 15.6 | 11.9 | 12.2 | 11.7 |
| 96 | 9.2 | 8.8 | 8.2 | 10.0 | 12.6 | 12.2 | 12.5 | 12.9 |
| 100 | 8.0 | 7.9 | 9.8 | 9.6 | 12.2 | 11.3 | 12.9 | 11.1 |
| 104 | 7.9 | 7.9 | 7.8 | 7.7 | 11.5 | 11.2 | 11.2 | 10.8 |
| MIN | 7.9 | | | | 12.2 | | | |
| MAX | 13.4 | | | | 15.7 | | | |
| AV | 8.9 | | | | 12.2 | | | |

Таблица А.4 - Описательная статистика формы низа рукава по 19 фотографиям

| | BC | FC |
|----|-----|-----|
| 1 | 3.5 | 0 |
| 2 | 2.3 | 1.9 |
| 3 | 0.5 | 1.1 |
| 4 | 1.3 | 3.2 |
| 5 | 4.3 | 1.5 |
| 6 | 0 | 4.3 |
| 7 | 2.4 | 4 |
| 8 | 0.8 | 0.8 |
| 9 | 0.9 | 0.6 |
| 10 | 0.9 | 1.5 |
| 11 | 1.6 | 0.8 |
| 12 | 1 | 2.7 |
| 13 | 0 | 4.1 |

| | | |
|-----|-----|-----|
| 14 | 1.9 | 3.8 |
| 15 | 7.2 | 1.8 |
| 16 | 2.8 | 1.7 |
| 17 | 5.1 | 2.6 |
| 18 | 2 | 3.5 |
| 19 | 1.6 | 3.5 |
| MIN | 0 | 0 |
| MAX | 7.2 | 4.3 |
| AV | 2.3 | 2.3 |
| SD | 1.8 | 1.4 |

Таблица А.5 - Общие интервальные диапазоны параметров формы по 95 фотографиям (см)

| | SP | AL | EL | Угол «плечо-рукав» |
|----|------|------|------|-----------------------|
| 1 | 41.8 | 46.8 | 48 | 124 |
| 2 | 42.6 | 49.6 | 50.8 | 119.2 |
| 3 | 46 | 55.2 | 57 | 119 |
| 4 | 42 | 57.6 | 59 | 132.3 |
| 5 | 40.6 | 44.8 | 46.8 | 123.5 |
| 6 | 43.8 | 51.2 | 55 | 126.7 |
| 7 | 42.2 | 52.4 | 55.8 | 121.4 |
| 8 | 43.8 | 48 | 49.4 | 123.7 |
| 9 | 40 | 46 | 48.8 | 124.3 |
| 10 | 45.4 | 54 | 58.2 | 127.3 |
| 11 | 42.8 | 46.4 | 47.8 | 140.2 |
| 12 | 44.8 | 50 | 55.2 | 130.7 |
| 13 | 41.4 | 47.6 | 49.2 | 121.3 |
| 14 | 44.2 | 46.6 | 46.8 | 126 |
| 15 | 53.4 | 47.2 | 47.2 | 120.9 |
| 16 | 44 | 54.4 | 59 | 120.9 |
| 17 | 46.6 | 60 | 62.8 | 127.9 |
| 18 | 46.8 | 54 | 56.8 | 118.7 |
| 19 | 48.9 | 48 | 50.8 | 123.6 |
| 20 | 47.2 | 52.8 | 57 | 132.5 |
| 21 | 41.6 | 47.4 | 48.6 | 121.3 |
| 22 | 46.8 | 53.4 | 55.8 | 127.6 |
| 23 | 45 | 47.6 | 50.6 | 118.8 |
| 24 | 43.4 | 52.2 | 57 | 118.6 |
| 25 | 47 | 57.2 | 57.6 | 120.5 |
| 26 | 45 | 51 | 52 | 125.7 |

| | | | | |
|----|------|------|------|-------|
| 27 | 48.8 | 56.8 | 58.2 | 131.2 |
| 28 | 47.8 | 58.4 | 64.4 | 126.4 |
| 29 | 42.8 | 50.6 | 53 | 136.2 |
| 30 | 47.2 | 55 | 61.8 | 126.8 |
| 31 | 43 | 52.4 | 55.2 | 127.5 |
| 32 | 49 | 53.4 | 58.8 | 126.7 |
| 33 | 48.6 | 55 | 58 | 113 |
| 34 | 48.2 | 58.4 | 60.4 | 131.4 |
| 35 | 42 | 47.8 | 52.4 | 131.6 |
| 36 | 41 | 44.8 | 47 | 135.7 |
| 37 | 43 | 56 | 61.6 | 128 |
| 38 | 46.8 | 58 | 61.8 | 123.3 |
| 39 | 43.2 | 48.4 | 51.4 | 122.7 |
| 40 | 43.8 | 54 | 56 | 124.2 |
| 41 | 47 | 51 | 54 | 125.3 |
| 42 | 46.4 | 55.4 | 60 | 126.8 |
| 43 | 45.4 | 56.8 | 60.8 | 127.8 |
| 44 | 39.4 | 48.8 | 55 | 120 |
| 45 | 46.4 | 50.8 | 54.2 | 126.5 |
| 46 | 44 | 56.2 | 60 | 119.9 |
| 47 | 45.6 | 54.2 | 56.4 | 128.6 |
| 48 | 42.4 | 50.2 | 54 | 125.2 |
| 49 | 46 | 60.2 | 64 | 120.9 |
| 50 | 41 | 49.4 | 51.4 | 125 |
| 51 | 40.8 | 46 | 47.6 | 123.6 |
| 52 | 42.8 | 49 | 51.6 | 130.4 |
| 53 | 46 | 50.8 | 53 | 129.4 |
| 54 | 43.6 | 51 | 53 | 120.8 |
| 55 | 41.4 | 46 | 49.6 | 120.8 |
| 56 | 43.8 | 48.4 | 52.6 | 126.3 |
| 57 | 49.6 | 49.2 | 52.4 | 121.2 |
| 58 | 44 | 55.2 | 59 | 132 |
| 59 | 46 | 54 | 60 | 127.2 |
| 60 | 42.4 | 48.6 | 50.6 | 128.1 |
| 61 | 44.8 | 49.2 | 52 | 120.2 |
| 62 | 45.6 | 54 | 57.8 | 121 |
| 63 | 46 | 55.4 | 59.4 | 131.5 |
| 64 | 48.6 | 58 | 63.8 | 124.7 |
| 65 | 45.2 | 59.6 | 67 | 132.6 |
| 66 | 45 | 55.6 | 61.8 | 106.2 |
| 67 | 51 | 66.4 | 71.6 | 118.6 |
| 68 | 46 | 54 | 55 | 122.7 |
| 69 | 48.2 | 58.2 | 62.8 | 123.7 |

| | | | | |
|-----|------|------|------|-------|
| 70 | 41.6 | 50.2 | 56.6 | 128 |
| 71 | 44.6 | 51.6 | 55.6 | 118.3 |
| 72 | 47.2 | 51.2 | 55 | 126.9 |
| 73 | 47.8 | 50 | 51.4 | 126 |
| 74 | 46.2 | 55.6 | 58.8 | 116.8 |
| 75 | 51.4 | 58.8 | 62.2 | 129.2 |
| 76 | 48.8 | 57.6 | 62.8 | 124.8 |
| 77 | 46.6 | 54.2 | 58.8 | 127.5 |
| 78 | 46.4 | 55.4 | 58.4 | 129.7 |
| 79 | 47.2 | 56 | 61.2 | 118 |
| 80 | 48.6 | 56.8 | 61 | 119.3 |
| 81 | 57.8 | 70 | 73.4 | 130.2 |
| 82 | 52.2 | 64 | 67 | 116 |
| 83 | 47.2 | 56.8 | 63.2 | 120.4 |
| 84 | 50.8 | 61 | 63.4 | 129.7 |
| 85 | 48.6 | 56.4 | 57.6 | 131.1 |
| 86 | 49.2 | 56.4 | 60.2 | 120.2 |
| 87 | 45 | 52 | 55.2 | 122 |
| 88 | 47.8 | 55.8 | 60.2 | 130 |
| 89 | 54.4 | 49 | 52 | 119 |
| 90 | 50 | 63 | 66.2 | 117.3 |
| 91 | 53 | 55.6 | 60.2 | 119.2 |
| 92 | 45.4 | 48.6 | 51.8 | 137 |
| 93 | 48.8 | 58.2 | 61.6 | 125.5 |
| 94 | 50.4 | 55.6 | 56.4 | 117.8 |
| 95 | 48 | 52 | 54 | 125 |
| AV | 45.9 | 53.3 | 56.6 | 124.8 |
| MAX | 57.8 | 70 | 73.4 | 140.2 |
| MIN | 39.4 | 44.8 | 46.8 | 106.2 |
| RD | 0.40 | 0.47 | 0.47 | 0.27 |

Таблица А.6 - E(CG) для 100 конструкций пальто с рукавом реглан из китайских учебников по конструированию одежды

| NO. | Fit | Semi-Fit | | Semi -Loose | Loose | |
|-----|-----|----------|----|-------------|-------|----|
| 1 | 10 | 14 | 18 | 18 | 31 | 24 |
| 2 | 13 | 14 | 16 | 19 | 26 | 30 |
| 3 | / | 16 | 18 | 19 | 21 | 26 |
| 4 | / | 13 | 18 | 20 | 24 | 26 |
| 5 | / | 13 | 18 | 20 | 26 | 27 |
| 6 | / | 15.5 | 18 | 20 | 26 | 27 |
| 7 | / | 15.5 | 14 | 20 | 26 | 30 |
| 8 | / | 14.5 | 18 | 20 | 26 | 22 |
| 9 | / | 14.5 | 18 | 20 | 28 | 25 |

| | | | | | | |
|-----|----|------|----|----|----|----|
| 10 | / | 15.5 | 18 | 21 | 21 | 32 |
| 11 | / | 18 | 16 | 22 | 21 | 30 |
| 12 | / | 13 | 18 | 18 | 30 | 35 |
| 13 | / | 13 | 18 | 18 | 28 | 26 |
| 14 | / | 15 | 18 | 18 | 28 | 26 |
| 15 | / | 15 | 16 | 20 | 28 | 26 |
| 16 | / | 15 | 18 | 20 | 34 | 26 |
| 17 | / | 15 | 18 | 20 | 34 | 28 |
| 18 | / | 14 | 18 | 25 | 25 | 30 |
| 19 | / | 16 | 14 | 23 | 28 | 30 |
| 20 | / | 14 | / | / | 32 | 32 |
| MIN | 10 | 13 | 18 | 22 | | |
| MAX | 13 | 18 | 25 | 35 | | |
| AV | 12 | 16 | 20 | 28 | | |

Таблица А.7 - Сравнительный анализ параметра a_F

| CG, cm | P1 | | | | P2 | | | | P3 | | | |
|-----------|------|------|------|------|-----|-----|------|-----|-----|------|------|------|
| | Y | A | B | C | Y | A | B | C | Y | A | B | C |
| 88 | -2.5 | -2 | 2.8 | 2.6 | 0 | 2 | 2 | 2 | 0.3 | -0.3 | 4.4 | 3 |
| 92 | -1.3 | 1.6 | 0.8 | 1 | 3.1 | 2.1 | -3.2 | 3.1 | 0.4 | 2.6 | -1.4 | -1.7 |
| 96 | 1.2 | -0.3 | 0 | -1.2 | 3.6 | 3.1 | 2.5 | 2.7 | 1.5 | 2.2 | 3.2 | 2.5 |
| 100 | 2.1 | -2.9 | -3.5 | 2.6 | 3.2 | 4 | 2.7 | 0.5 | 2.9 | 2.8 | -2.2 | 2.1 |
| 104 | 1.9 | 1.0 | 2.1 | 2.6 | 3.5 | 4.7 | 0.5 | 0.9 | 3.1 | 2.3 | -1.5 | 1.6 |
| Av | 1.8 | | | | 2.0 | | | | 2.1 | | | |

Таблица А.8- Сравнительный анализ параметра b_F

| CG, cm | P1 | | | | P2 | | | | P3 | | | |
|--------|-----|---|-----|-----|------|------|------|-----|-----|------|------|-----|
| | Y | A | B | C | Y | A | B | C | Y | A | B | C |
| 88 | 0 | 0 | 0 | 2 | -1.4 | -2.7 | 1.4 | 2 | 0.3 | -0.3 | 4.4 | 2 |
| 92 | 0.1 | 0 | 0.4 | 2.3 | 2.7 | 2.8 | -1.4 | 2.4 | 0.4 | 2.6 | -1.8 | 2.4 |
| 96 | 0 | 0 | 0.2 | 0 | 0.7 | -3.2 | 1.0 | 2.8 | 1.5 | 2.2 | 3.2 | 2.5 |
| 100 | 0.4 | 0 | 0 | 0 | 0.7 | 0.5 | 3.1 | 0.4 | 2.9 | 2.8 | -1.2 | 1.1 |
| 104 | 0 | 0 | 2.3 | 2 | 0.4 | 0.5 | 1.6 | 1.2 | 3.1 | 2.3 | -1.5 | 1.6 |
| Av | 0.5 | | | | 1.6 | | | | 2 | | | |

Таблица А.9 - Сравнительный анализ параметра c

| CG, cm | P1 | | | | P2 | | | | P3 | | | |
|--------|----|---|---|---|----|---|---|---|----|---|---|---|
| | Y | A | B | C | Y | A | B | C | Y | A | B | C |
| 88 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 0 | 0 | 2 | 1 |
| 92 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 |
| 96 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 2 | 2 | 2 | 3 |
| 100 | 0 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 0 | 2 | 2 |

| | | | | | | | | | | | | |
|-----|-----|---|---|---|-----|---|---|---|-----|---|---|---|
| 104 | 0 | 0 | 1 | 2 | 0 | 1 | 2 | 2 | 2 | 3 | 2 | 2 |
| Av | 0.2 | | | | 0.9 | | | | 1.3 | | | |

Таблица А.10- Сравнительный анализ параметра $(d_F + d_B)/2$

| CG, cm | P1 | | | | P2 | | | | P3 | | | |
|--------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | Y | A | B | C | Y | A | B | C | Y | A | B | C |
| 88 | 0.2 | 0.8 | 1 | 1 | 0.3 | 0.4 | 0.5 | 0.5 | 0.8 | 0.8 | 0.6 | 0.7 |
| 92 | 0.7 | 1 | 1.1 | 1.2 | 0.6 | 0.7 | 0.9 | 0.9 | 0.8 | 0.8 | 1 | 1.1 |
| 96 | 0.8 | 0.2 | 0.2 | 0.4 | 1 | 1.3 | 1.3 | 1.1 | 1.2 | 0.8 | 1.8 | 1 |
| 100 | 0.7 | 0.8 | 1.2 | 1.3 | 0.8 | 1.1 | 1.4 | 1.8 | 0.6 | 0.7 | 0.9 | 1.3 |
| 104 | 0.5 | 0.6 | 1.1 | 2 | 1.8 | 1.8 | 1.9 | 1.6 | 0.6 | 0.9 | 1.1 | 0.9 |
| Av | 0.8 | | | | 1.1 | | | | 0.9 | | | |

Таблица А.11 -BSS и FSS для типовых 3D-аватаров

| | | CG | BSS, degree | FSS, degree |
|----|---|-----|----------------|----------------|
| 1 | Y | 88 | 24.9 | 27.3 |
| 2 | | 92 | 21.1 | 24.9 |
| 3 | | 96 | 20.3 | 24.6 |
| 4 | | 100 | 20.1 | 24.4 |
| 5 | | 104 | 19.9 | 23.9 |
| AV | | | 21.3 ± 1.8 | 25.0 ± 1.2 |
| 6 | A | 88 | 23.1 | 26.1 |
| 7 | | 92 | 21.9 | 25.2 |
| 8 | | 96 | 21.2 | 24.9 |
| 9 | | 100 | 20.8 | 24.8 |
| 10 | | 104 | 20.2 | 24.7 |
| AV | | | 22 ± 1.2 | 25.5 ± 0.6 |
| 11 | B | 88 | 24.9 | 27.3 |
| 12 | | 92 | 23.6 | 26 |
| 13 | | 96 | 22.2 | 25.5 |
| 14 | | 100 | 21.6 | 25.1 |
| 15 | | 104 | 20.6 | 25.1 |
| AV | | | 22.6 ± 1.7 | 25.8 ± 0.9 |
| 16 | C | 88 | 23.5 | 25.0 |
| 17 | | 92 | 20.5 | 26.0 |
| 18 | | 96 | 24.2 | 26.7 |
| 19 | | 100 | 23.7 | 26.3 |
| 20 | | 104 | 22.5 | 26.3 |
| AV | | | 22.9 ± 1.5 | 26.1 ± 0.7 |

Таблица А.12 - Передний и задний обхваты талии (FWG/BWG) и соотношение BWG:FWG для типовых аватаров

| | | CG | BWG | FWG | BWG:FWG (%) |
|----|---|-----|------------|------------|-------------|
| 1 | Y | 88 | 15.4 | 17.6 | 46.7:53.3 |
| 2 | | 92 | 16.5 | 18.5 | 47.1:52.9 |
| 3 | | 96 | 16.9 | 20.1 | 45.7:54.3 |
| 4 | | 100 | 18.8 | 20.3 | 48.1:51.9 |
| 5 | | 104 | 19.8 | 21.2 | 48.3:51.7 |
| AV | | | 17.5 ± 1.8 | 19.5 ± 1.5 | 47.2: 52.8 |
| 6 | A | 88 | 16.4 | 19.6 | 45.6:54.4 |
| 7 | | 92 | 16.9 | 21.1 | 44.5:55.5 |
| 8 | | 96 | 18.2 | 21.8 | 45.5:54.5 |
| 9 | | 100 | 19.6 | 22.4 | 46.7:53.3 |
| 10 | | 104 | 20.9 | 23.1 | 47.5:52.5 |
| AV | | | 18.4 ± 1.9 | 21.6 ± 1.3 | 46: 54 |
| 11 | B | 88 | 17.7 | 21.3 | 45.4:54.6 |
| 12 | | 92 | 18.4 | 22.6 | 44.9:55.1 |
| 13 | | 96 | 20.5 | 22.5 | 47.7:52.3 |
| 14 | | 100 | 21.4 | 23.6 | 47.6:52.4 |
| 15 | | 104 | 21.7 | 25.3 | 46.2:53.8 |
| AV | | | 19.9 ± 1.8 | 3.1 ± 1.5 | 46.4: 53.6 |
| 16 | | 88 | 18.8 | 21.7 | 46.4:53.6 |
| 17 | | 92 | 19.6 | 22.5 | 46.6:53.4 |
| 18 | C | 96 | 21.5 | 24.5 | 46.7:53.3 |
| 19 | | 100 | 22.1 | 25.9 | 46.0:54.0 |
| 20 | | 104 | 22.7 | 27.2 | 45.5:54.5 |
| AV | | | 20.9 ± 1.7 | 24.4 ± 2.3 | 46.2: 53.8 |

Таблица А.13 - Подробные результаты измерений критериев посадки лифа для прототипов, модифицированных с учётом типа телосложения

| CG, cm | <i>a</i> | | | | <i>b</i> | | | | <i>c</i> | | | | $(d_F + d_B)/2$ | | | |
|-----------|----------|------|------|------|----------|---|-----|-----|----------|---|---|---|-----------------|-----|-----|-----|
| | Y | A | B | C | Y | A | B | C | Y | A | B | C | Y | A | B | C |
| 88 | -1.5 | -2 | 1.9 | 1.6 | 0 | 0 | 0 | 1.2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.2 | 0.8 | 0.5 | 0.6 |
| 92 | -1.3 | 1.6 | 0.8 | 1 | 0.1 | 0 | 0.4 | 1.3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.7 | 0.7 | 0.8 | 0.8 |
| 96 | 1.2 | -0.3 | 0 | -1.2 | 0 | 0 | 0.2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.8 | 0.2 | 0.2 | 0.4 |
| 100 | 2 | -2.9 | -1.5 | 1.6 | 0.4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0.7 | 0.8 | 0.7 | 0.6 |
| 104 | 1.9 | 1 | 1.8 | 1.6 | 0 | 0 | 2.3 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.5 | 0.6 | 0.8 | 1.2 |
| Av | 1.7 | | | | 0.4 | | | | 0.7 | | | | 0.8 | | | |
| | 19 | | | | 18 | | | | 20 | | | | 19 | | | |

Таблица А.14 - Сравнение складок 3D-формы для различных прототипов и типов телосложения

| <i>Folds, amount</i> | <i>P4</i> | | | | <i>P5</i> | | | | <i>P6</i> | | | |
|----------------------|-----------|---|---|---|-----------|---|---|---|-----------|---|---|---|
| | Y | A | B | C | Y | A | B | C | Y | A | B | C |
| 88 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 92 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 96 | 1 | 1 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 100 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 104 | 2 | 1 | 1 | 2 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| AV | 0.6 | | | | 0.2 | | | | 0.2 | | | |

Таблица А.15 - Сравнение параметра FC 3D-формы для различных прототипов и типов телосложения

| <i>FC, cm</i> | <i>P4</i> | | | | <i>P5</i> | | | | <i>P6</i> | | | |
|---------------|-----------|-----|-----|-----|-----------|-----|-----|-----|-----------|-----|-----|-----|
| | Y | A | B | C | Y | A | B | C | Y | A | B | C |
| 88 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 |
| 92 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.3 | 0.6 | 0.4 | 0.3 | 0.4 | 0.5 | 0.4 | 0.4 |
| 96 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.5 | 0.5 | 0.7 | 0.4 | 0.5 | 0.6 | 0.5 | 0.7 |
| 100 | 0 | 0.4 | 0.5 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.4 | 0.6 | 0.7 | 0.4 |
| 104 | 0.6 | 0 | 0 | 0.3 | 1.1 | 0.4 | 0.4 | 0.5 | 0.6 | 0.3 | 0.5 | 1.3 |
| AV | 0.1 | | | | 0.4 | | | | 0.5 | | | |

Таблица А.16 - Сравнение условия $a_s - b_s = 0$ для 3D-формы различных прототипов и типов телосложения

| $a_s - b_s = 0$ Y=yes, N=no | <i>P4</i> | | | | <i>P5</i> | | | | <i>P6</i> | | | |
|--------------------------------|-----------|---|---|---|-----------|---|---|---|-----------|---|---|---|
| | Y | A | B | C | Y | A | B | C | Y | A | B | C |
| 88 | Y | Y | Y | N | N | Y | Y | N | Y | Y | Y | N |
| 92 | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y |
| 96 | N | Y | Y | N | Y | Y | N | Y | Y | Y | Y | Y |
| 100 | Y | N | Y | N | N | Y | Y | N | Y | Y | N | Y |
| 104 | Y | N | N | N | Y | N | N | N | Y | N | N | N |
| <i>Y-amount</i> | 12 | | | | 12 | | | | 15 | | | |

Таблица А.17 - Полные результаты измерения количества складок для P6(m) и P7 по 20 стандартизированным образцам виртуальной примерки

| folds, amount | P6(m) | | | | P7 | | | |
|------------------|-------|---|---|---|-----|---|---|---|
| | Y | A | B | C | Y | A | B | C |
| 88 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 92 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 96 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 100 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 104 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| AV | 0.2 | | | | 0.1 | | | |

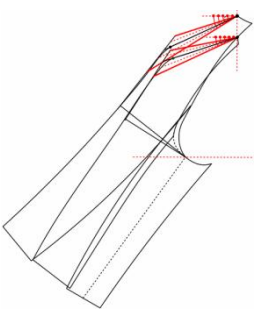





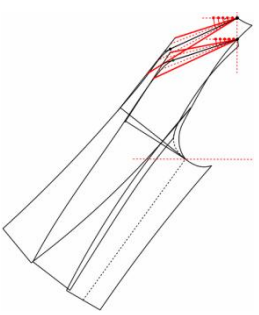

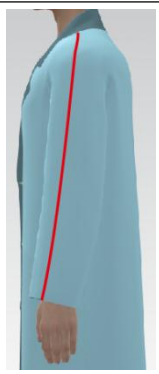



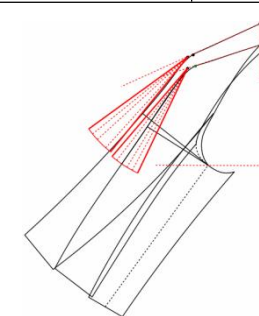





Таблица А.18 - Полные результаты измерения значений FC для P6(m) и P7 по 20 стандартизированным образцам виртуальной примерки.

| FC, cm | P6(m) | | | | P7 | | | |
|--------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | Y | A | B | C | Y | A | B | C |
| 88 | 1.5 | 1.2 | 0.8 | 0.7 | 1.5 | 1.2 | 1.4 | 1.2 |
| 92 | 1.2 | 0.5 | 0.4 | 0.9 | 1.2 | 1.3 | 1 | 1.4 |
| 96 | 1.2 | 0.8 | 0.5 | 0.4 | 1.2 | 1.5 | 1.5 | 1.2 |
| 100 | 0.4 | 0.6 | 1 | 0.4 | 1.3 | 1.5 | 1 | 1.2 |
| 104 | 1.0 | 0.5 | 0.6 | 0.3 | 1.0 | 1.3 | 1.7 | 0.5 |
| AV | 0.7 | | | | 1.3 | | | |

Таблица А.19 - Полные результаты измерения значений $|a_s - b_s|$ для P6(m) и P7 по 20 стандартизированным образцам виртуальной примерки.

| $ a_s - b_s $, cm | P6(m) | | | | P7 | | | |
|--------------------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | Y | A | B | C | Y | A | B | C |
| 88 | 0.1 | 0.2 | 0.4 | 0.5 | 0 | 0.1 | 0.1 | 0.2 |
| 92 | 0 | 0 | 0.3 | 1.2 | 0 | 0 | 0.3 | 0.4 |
| 96 | 0.3 | 0.2 | 0.3 | 1 | 0.3 | 0.2 | 0.3 | 0.5 |
| 100 | 0.2 | 0 | 0.3 | 1 | 0.2 | 0 | 0.3 | 0.9 |
| 104 | 0.3 | 0.6 | 1.0 | 1.2 | 0.3 | 0.6 | 0.7 | 1.2 |
| AV | 0.5 | | | | 0.3 | | | |

Таблица А.20 - Проверенные рабочие диапазоны ключевых параметров конструкции рукава по результатам тестов возмущения в Style3D.

| | | | | | | |
|---|-------|---|---|--|---|---|
|  | |  |  |  |  |  |
| $\Delta(\angle BSS + \angle FSS)$ [33°...54°] | | 33 | 40 | 47 | 54 | 61 |
| Уровень посадки | FD | 4.5 | 3.7 | 3.4 | 2.7 | 1.5 |
| | Folds | 2 | 0 | 0 | 0 | 1 |
|  | |  |  |  |  |  |
| $\Delta(\angle BSS - \angle FSS)$ [-4.5°...12.4°] | | -3 | 0 | 3 | 6 | 9 |
| Уровень посадки | FC | 2 | 1.8 | 1.5 | 1.3 | 1 |
| | Folds | 2 | 0 | 0 | 0 | 1 |
|  | |  |  |  |  |  |
| $\Delta(\angle BA + \angle FA)$ [22.3°...72.4°] | | 54 | 60 | 66 | 72 | 84 |
| Уровень посадки | FD | 5.7 | 4.0 | 3.1 | 2.7 | 2.1 |
| | Folds | 2 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| <i>c</i> | | | | | | |

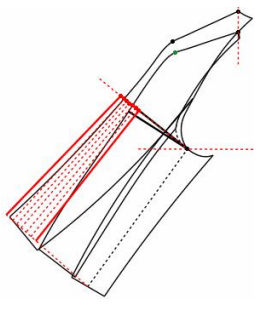





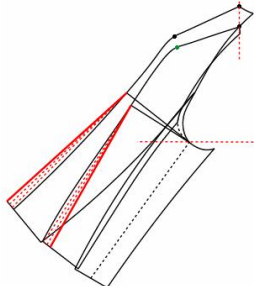




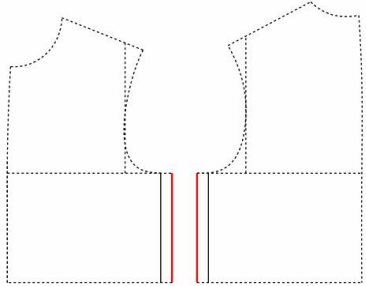
| | | | | | | |
|---|-------|--|---|--|--|---|
|  | |  |  |  |  |  |
| $\Delta(\text{BSW-FSW})$ [-0.7...8.3cm] | | -0.5 | 2.5 | 5 | 7.5 | 9.5 |
| Уровень посадки | a-b | 2.2 | 0.3 | 0.7 | 0.5 | 0.5 |
| | Folds | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 |
|  | |  |  |  |  | |
| Offset(SCL) [0...3.2cm] | | 0 | 1.5 | 2.5 | 3.5 | |
| Уровень посадки | FC | 0 | 0.3 | 0.7 | 1.8 | |
| | Folds | 2 | 0 | 0 | 0 | |

Таблица А.21 - Влияние положения распределения $E(\text{CG})$ и пропорции его распределения на форму рукава пальто с рукавом реглан при $E(\text{CG}) = 16$ см.

| 2D-конструкция | | 3D-форма | Уровень посадки |
|-------------------------|---|--|--------------------|
| распределение прибавки | доля прибавки | | |
| $AHW (L(A))$ | | | |
| ① 33.3:33.3:3 3.3 |  |  | NG |

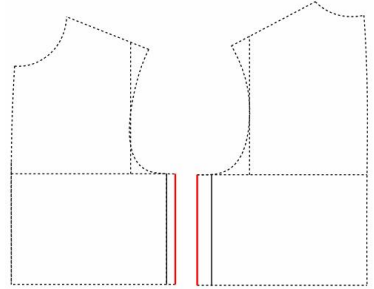

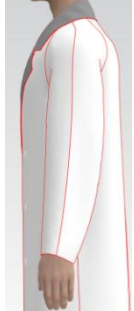
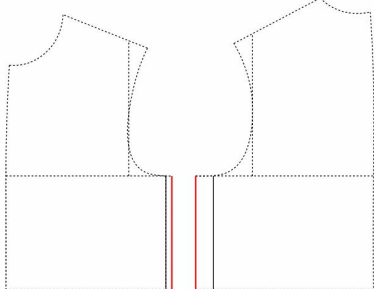
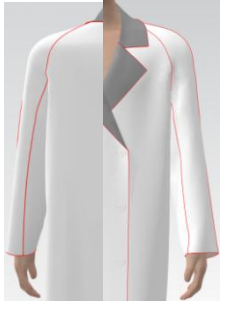

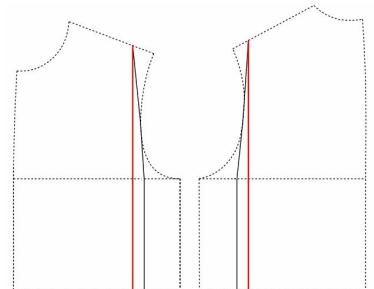


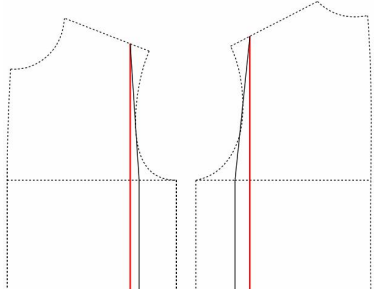


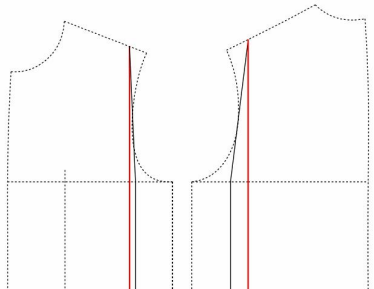

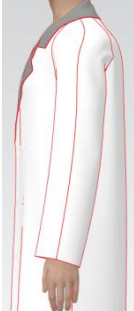




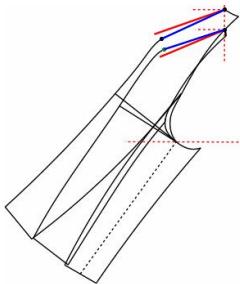




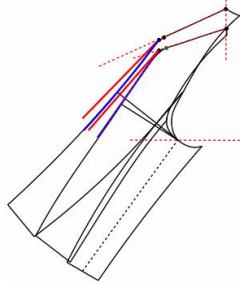




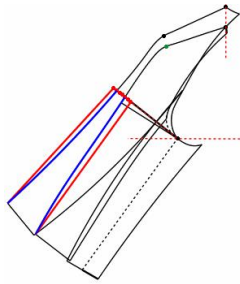
| | | | | |
|----------------------------------|---|--|---|-----------|
| <p>② 16.7:33.3:5 0</p> |  |  |  | <p>NG</p> |
| <p>③ 14.2:33.3:5 2.5</p> |  |  |  | <p>NG</p> |
| <p>FW - BW (L(F) / L(B))</p> | | | | |
| <p>① 33.3:33.3:3 3.3</p> |  |  |  | <p>NG</p> |
| <p>② 16.7:33.3:5 0</p> |  |  |  | <p>G</p> |
| <p>③ 14.2:33.3:5 2.5</p> |  |  |  | <p>NG</p> |

Таблица А.22 - Оптимизация ключевых параметров конструкции для формы рукава реглан.

| Параметры конструкции | | 3D-форма | | Реальная форма | | Оптимизация конструкции (красная линия) |
|--------------------------|------------------------|---|---|---|---|---|
| | | До оптимизации | После оптимизации | До оптимизации | После оптимизации | |
| ① | $\Delta(FSS+BSS)$, ° |  |  |  |  |  |
| Интервал хорошей посадки | | 32 | 47 | 32 | 47 | [40...54] |
| Уровень посадки | | NG | G | NG | G | |
| ② | $\Delta(BA+FA)$, ° |  |  |  |  |  |
| Интервал хорошей посадки | | 54 | 66 | 54 | 66 | [60...72] |
| Уровень посадки | | NG | G | NG | G | |
| ③ | $\Delta(BSW-FSW)$, см |  |  |  |  |  |
| Интервал хорошей посадки | | 0 | 3 | 0 | 3 | [2.5...7.5] |
| Уровень посадки | | NG | G | NG | G | |





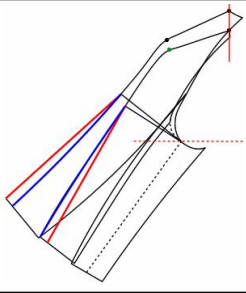




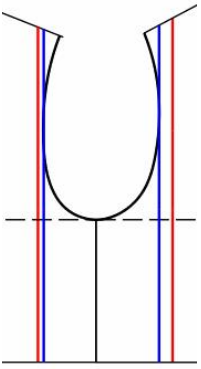




| | | | | | | |
|---|-----------------------------|---|---|---|--|--|
| ④ | Offset(SCL), cm |  |  |  |  |  |
| | Интервал хорошей посадки | 0 | 2 | 0 | 2 | [0...3.5] |
| | Уровень посадки | NG | G | NG | G | |
| ⑤ | E(CG) Distribution, cm |  |  |  |  |  27.5:17.5:55 |
| | Интервал хорошей посадки(%) | 33.3:33.3 :33.3 | 27.5:17.5 :55 | 33.3:33.3 :33.3 | 27.5:17.5:55 | |
| | | NG | G | NG | G | |
| ⑥ | E(CG) Values, cm |  |  |  |  | |
| | | 12 | 20 | 12 | 16 | |
| | | G | G | G | G | |

Таблица А.24 - Процедура предварительной обработки изображений и расчёта SSIM для оценки упрощённой конструкции

| Этап | Операция | Цель |
|------|------------------------------|---|
| 1 | Выбор пары изображений | Пальто с рукавом реглан с воротником, подбортом и подкладкой сравнивалось с тем же пальто без этих элементов. |
| 2 | Разделение по видам | Вид со спины, вид спереди и вид сбоку анализировались отдельно, чтобы исключить смешение различий, обусловленных разными ракурсами. |
| 3 | Кадрирование переднего плана | Область изделия была выделена из исходного изображения для уменьшения влияния фона на расчёт SSIM. |
| 4 | Нормализация | Парные изображения для каждого вида были приведены к |

| | | |
|---|-----------------------------------|---|
| | размера | одинаковым размерам перед расчётом SSIM. |
| 5 | Преобразование в градации серого | Изображения были преобразованы в изображения в градациях серого для расчёта глобального SSIM. |
| 6 | Извлечение бинарной маски изделия | Были извлечены силуэтные маски изделия для расчёта SSIM на уровне внешнего контура и снижения влияния локальной текстуры и освещения. |
| 7 | Анализ краёв и локальных областей | Были рассчитаны значения SSIM для краёв и отдельных локальных областей, чтобы определить основные зоны видимых различий. |
| 8 | Обобщение результатов | Результаты по отдельным видам были обобщены в таблице 3.5 для оценки того, сохраняет ли упрощённая конструкция основной силуэт пальто с рукавом реглан. |

Таблица А.25 - Детальные результаты SSIM для сравнения вида спереди с воротником, подбором и подкладкой и без них

| Показатель анализа | Значение SSIM | Основная затронутая область | Интерпретация |
|--|---------------|---|--|
| Глобальный SSIM в градациях серого | 0,806 | Общий вид спереди | Два изображения вида спереди показали относительно высокий уровень общего структурного сходства изображения. |
| SSIM области изделия в градациях серого | 0,825 | Основная видимая область изделия | После снижения влияния фона, кожи и внутренней одежды структура изделия спереди показала более высокое сходство. |
| SSIM силуэтной маски | 0,883 | Внешний контур переда | Основной внешний контур переда в значительной степени сохранился. |
| SSIM контурных краёв | 0,902 | Граница изделия спереди | Основные границы стана, границы рукава и контур низа изделия оставались высоко согласованными. |
| SSIM области плеча и шеи | 0,779 | Горловина и верхняя область плеча | Локальные различия были вызваны главным образом воротником и структурой верхней части горловины. |
| SSIM области верхней части рукава и проймы | 0,743 | Верхняя часть рукава и переходная область рукава реглан | Верхняя часть рукава и переходная зона плеча и рукава показали локальные различия из-за изменений теней и структурных краёв. |
| SSIM области | 0,813 | Рукав и низ | Рукав в целом сохранял |

| | | | |
|--|-------|-----------------------------------|--|
| рукава и низа рукава | | рукава | относительно высокую согласованность, при этом незначительные различия наблюдались в области низа рукава и положения руки. |
| SSIM основной области переда | 0,879 | Основная часть переда | Контур переда и вертикальная поверхность показали высокую структурную согласованность. |
| SSIM области низа изделия и нижней части стана | 0,903 | Нижняя часть переда и низ изделия | Нижняя область изделия была высоко сходной при двух конструктивных условиях. |

Таблица А.26 - Детальные результаты SSIM для сравнения вида сбоку с воротником, подбортом и подкладкой и без них

| Показатель анализа | Значение SSIM | Основная затронутая область | Интерпретация |
|--|---------------|--|---|
| Глобальный SSIM в градациях серого | 0,766 | Общий вид сбоку | Два изображения вида сбоку показали относительно высокий уровень общего структурного сходства изображения, хотя локальные визуальные различия были заметны. |
| SSIM силуэтной маски | 0,887 | Внешний боковой контур | Основной силуэт сбоку в значительной степени сохранился. |
| SSIM краёв / конструктивных линий | 0,830 | Боковой контур и граница рукава | Боковой контур и граница рукава сохраняли относительно высокую согласованность. |
| SSIM области плеча, шеи и верхней части рукава | 0,780 | Плечо, шея и верхняя часть рукава | Локальные различия были в основном вызваны воротником и переходной структурой плеча и шеи. |
| SSIM области рукава и низа рукава | 0,789 | Рукав и низ рукава | Незначительные различия наблюдались в пространственном отношении между рукавом и рукой, а также в области низа рукава. |
| SSIM области низа изделия и нижней части стана | 0,936 | Нижняя боковая часть стана и низ изделия | Нижний боковой контур и область низа изделия показали очень высокое сходство. |

Таблица А.27 - Детальные результаты SSIM для сравнения вида со спины с воротником, подбортом и подкладкой и без них

| Показатель анализа | Значение SSIM | Основная затронутая область | Интерпретация |
|---|---------------|-------------------------------------|--|
| Глобальный SSIM в градациях серого | 0,775 | Общий вид со спины | Два изображения вида со спины показали относительно высокий уровень общего структурного сходства изображения. |
| SSIM силуэтной маски | 0,885 | Внешний контур спинки | Основной внешний контур спинки в значительной степени сохранился после удаления воротника, подборта и подкладки. |
| SSIM краёв / конструктивных линий | 0,868 | Контур спинки и граница рукава | Основные границы изделия оставались согласованными, хотя локальные различия краёв были заметны. |
| SSIM области плеча, шеи и заднего воротника | 0,772 | Задняя область шеи и воротника | Видимое различие в основном было вызвано наличием или отсутствием воротника. |
| SSIM переходной области между рукавом реглан и плечом | 0,710 | Заднее плечо и верхняя часть рукава | Переходная область плеча и рукава локально изменялась из-за толщины воротниковой зоны и изменений теней. |
| SSIM области рукава и низа рукава | 0,717 | Рукав и низ рукава | Различия наблюдались в тенях рукава и положении руки, однако внешний контур рукава оставался стабильным. |
| SSIM основной области спинки | 0,831 | Основная часть спинки | Поверхность спинки и её вертикальная структура показали относительно высокую согласованность. |
| SSIM области низа изделия и нижней части стана | 0,827 | Нижняя часть спинки и низ изделия | Нижняя часть изделия и область низа показали ограниченные изменения формы. |

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Результаты проверки точности и устойчивости ИИ-генерации системы «фигура + пальто»

Таблица В.1 - Кумулятивные средние значения \pm SD семи проекционных параметров AIB при различных объёмах выборки, см

| Параметр | RB | n = 5 | n = 10 | n = 15 | n = 20 | n = 25 | n = 30 |
|----------|-------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| W_S | 44.6 | 44.74 \pm 0.64 | 44.88 \pm 0.56 | 44.84 \pm 0.56 | 44.72 \pm 0.51 | 44.84 \pm 0.59 | 44.86 \pm 0.51 |
| W_C | 33.30 | 33.80 \pm 0.27 | 33.46 \pm 0.67 | 33.51 \pm 0.75 | 33.54 \pm 0.68 | 33.55 \pm 0.68 | 33.6 \pm 0.63 |
| W_W | 29.50 | 28.54 \pm 0.79 | 29.06 \pm 0.83 | 29.19 \pm 0.74 | 29.17 \pm 0.73 | 29.18 \pm 0.73 | 29.19 \pm 0.74 |
| W_H | 35.30 | 35.78 \pm 0.30 | 36.08 \pm 0.69 | 35.77 \pm 0.80 | 35.76 \pm 0.75 | 35.72 \pm 0.69 | 35.75 \pm 0.68 |
| W_A | 9.10 | 9.52 \pm 0.44 | 9.67 \pm 0.46 | 9.79 \pm 0.50 | 9.75 \pm 0.54 | 9.72 \pm 0.54 | 9.76 \pm 0.32 |
| W_E | 8.00 | 8.64 \pm 0.42 | 8.70 \pm 0.50 | 8.68 \pm 0.45 | 8.49 \pm 0.44 | 8.60 \pm 0.43 | 8.60 \pm 0.52 |
| W_{Wr} | 6.00 | 5.58 \pm 0.18 | 5.56 \pm 0.35 | 5.54 \pm 0.32 | 5.51 \pm 0.30 | 5.40 \pm 0.35 | 5.52 \pm 0.51 |

Примечание. RB обозначает параметры реального тела. n = 5, 10, 15, 20, 25 и 30 обозначают кумулятивные выборки, сформированные из первых последовательно сгенерированных корректных изображений AIB.

Таблица В.2 - Кумулятивные абсолютные отклонения AIB от реального тела и общий средний абсолютный показатель отклонения при различных объёмах выборки, см

| Параметр | n = 5 | n = 10 | n = 15 | n = 20 | n=25 | n=30 |
|----------------|-------|--------|--------|--------|-------|-------|
| $ MD_{(WS)} $ | 0.14 | 0.28 | 0.24 | 0.21 | 0.24 | 0.26 |
| $ MD_{(WC)} $ | 0.5 | 0.16 | 0.21 | 0.24 | 0.25 | 0.3 |
| $ MD_{(WW)} $ | 0.96 | 0.44 | 0.31 | 0.33 | 0.32 | 0.31 |
| $ MD_{(WH)} $ | 0.48 | 0.78 | 0.47 | 0.45 | 0.42 | 0.45 |
| $ MD_{(WA)} $ | 0.42 | 0.57 | 0.69 | 0.65 | 0.62 | 0.66 |
| $ MD_{(WE)} $ | 0.64 | 0.7 | 0.68 | 0.69 | 0.60 | 0.60 |
| $ MD_{(Wwr)} $ | 0.42 | 0.44 | 0.46 | 0.49 | 0.60 | 0.48 |
| OMD | 0.509 | 0.481 | 0.438 | 0.435 | 0.436 | 0.437 |

Примечание. MD обозначает отклонение между кумулятивным средним значением AIB и

соответствующим параметром реального тела. OMD обозначает общий средний абсолютный показатель отклонения, рассчитанный по семи проекционным параметрам.

Таблица В.3 - Инкрементальные изменения кумулятивных средних значений семи проекционных параметров АІВ между соседними объёмами выборки, см

| Параметр | 5 → 10 | 10 → 15 | 15 → 20 | 20 → 25 | 25 → 30 |
|-----------|--------|---------|---------|---------|---------|
| W_S | 0.14 | 0.04 | 0.03 | 0.03 | 0.02 |
| W_C | 0.34 | 0.05 | 0.03 | 0.00 | 0.06 |
| W_W | 0.52 | 0.13 | 0.02 | 0.01 | 0.01 |
| W_H | 0.3 | 0.31 | 0.02 | 0.03 | 0.01 |
| W_A | 0.15 | 0.12 | 0.04 | 0.03 | 0.04 |
| W_E | 0.06 | 0.02 | 0.01 | 0.09 | 0.00 |
| W_{W_T} | 0.02 | 0.02 | 0.03 | 0.03 | 0.04 |

Примечание. Значения показывают абсолютное изменение кумулятивного среднего значения после добавления следующих пяти корректно сгенерированных изображений АІВ.

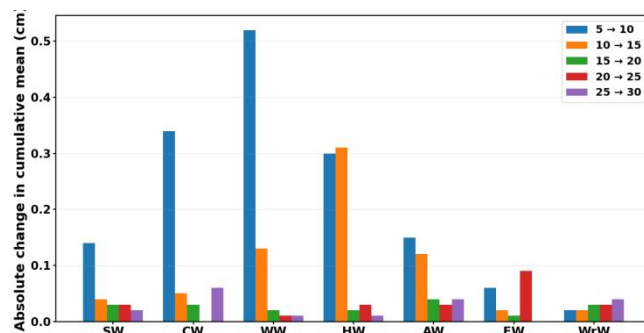


Рисунок В.1 - Сходимость общего среднего абсолютного отклонения OMD при увеличении объёма выборки АІВ от $n = 5$ до $n = 30$

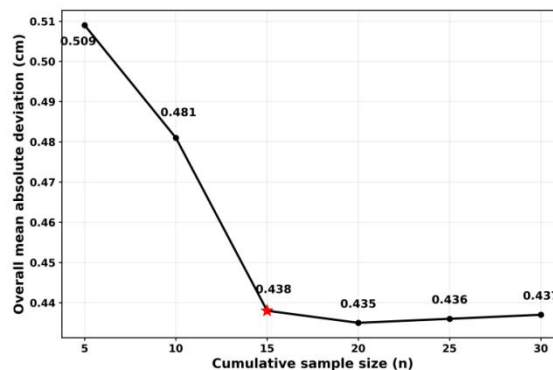


Рисунок В.2 - Инкрементальные изменения кумулятивных средних значений семи проекционных параметров АІВ при последовательном увеличении объёма выборки. Примечание. Интервалы 5→10, 10→15, 15→20, 20→25 и 25→30 показывают изменение средних значений после добавления следующих пяти изображений АІВ.

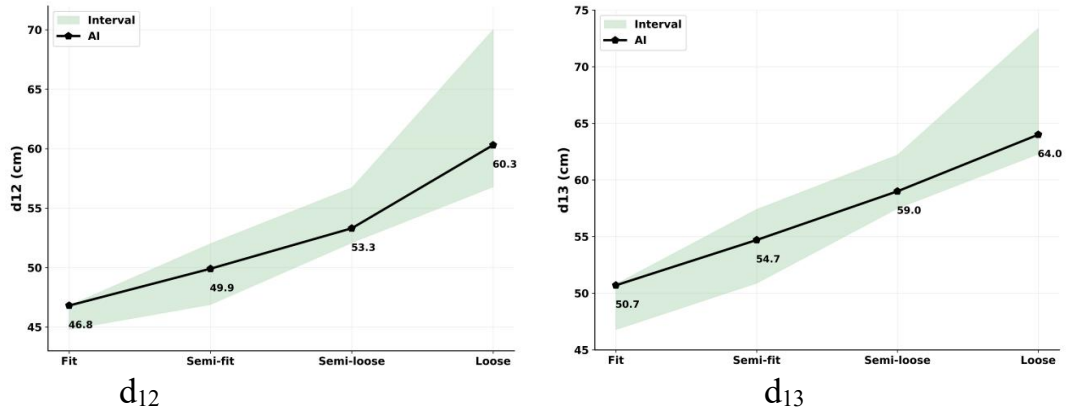


Рисунок В.3 - Сгенерированные объёмно-силуэтные формы при контроле параметров d12 по линии проймы и d13 по линии локтя

| E(CG),cm | хлопок | полиэстер | шерсть | хлопок | полиэстер | шерсть |
|----------|--------|-----------|--------|--------|-----------|--------|
| 12 | | | | | | |
| 16 | | | | | | |
| 20 | | | | | | |



Рисунок В.4 - Сгенерированные с помощью ИИ пальто с рукавом реглан при четырёх уровнях прибавки по груди E(CG) и трёх типах материалов: хлопок, полиэстер и шерсть.

Таблица В.4 - Проекционные отклонения АІВ по сравнению с RB (см, °).

| No. | ΔW_s | ΔW_c | ΔW_w | ΔW_H | ΔW_A | ΔW_E | ΔW_{wr} |
|-----------|-----------------|-----------------|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|
| 1 | -0.4 | 0.5 | -0.5 | 0.7 | 0.2 | 0 | -0.6 |
| 2 | 0.6 | 0.8 | 0.3 | 0.7 | 0.9 | 1 | -0.3 |
| 3 | -0.6 | 0.7 | -1 | 0.7 | -0.1 | 0.7 | -0.2 |
| 4 | 0.2 | 0.4 | -0.8 | 0.1 | 0.5 | 0.5 | -0.4 |
| 5 | 0.9 | 0.1 | -0.7 | 0.2 | 0.4 | 1 | -0.6 |
| 6 | 0.7 | 0.7 | 0.5 | 1 | 1.3 | 1.7 | -0.8 |
| 7 | 0.4 | -0.3 | 0 | 1.7 | 0.5 | 0.5 | 0 |
| 8 | 1.1 | -0.5 | 0.5 | 1.4 | 1 | 0 | 1 |
| 9 | -0.2 | 0.5 | 0.5 | 1.7 | 0.7 | 0.9 | -1 |
| 10 | 0.1 | -1.3 | -0.7 | -0.4 | 0.1 | 0.7 | -0.6 |
| 11 | 1.2 | 1.7 | 0.6 | -0.9 | 1.2 | 0.2 | -0.7 |
| 12 | -0.2 | -0.3 | -0.1 | 0.4 | 0.2 | 0.4 | -0.2 |
| 13 | 0.2 | -0.1 | -0.3 | -0.4 | 0.8 | 0.9 | -0.7 |
| 14 | -0.1 | -0.6 | -0.7 | -0.5 | 1.1 | 0.6 | -0.7 |
| 15 | -0.3 | 0.9 | 0.3 | 0.7 | 0.9 | 1.1 | -0.7 |
| 16 | 0.6 | 0.7 | 0.5 | 0.8 | 1.3 | 0 | -0.8 |
| 17 | 0.4 | 0.7 | -0.9 | -0.6 | -0.2 | 0.4 | -0.3 |
| 18 | -0.1 | 0.2 | -0.6 | 0.1 | 0.6 | 1 | -0.6 |
| 19 | 0.1 | 0.7 | -1.1 | 0.8 | -0.1 | 0.4 | -0.8 |
| 20 | -0.3 | -0.3 | 0.3 | 0 | 0 | 0.2 | -0.8 |
| <i>MD</i> | 0.22 ± 0.24 | 0.26 ± 0.32 | -0.20 ± 0.28 | 0.41 ± 0.34 | 0.57 ± 0.23 | 0.61 ± 0.21 | -0.49 ± 0.20 |

Таблица В.5 - Межвременное сравнение проекционных параметров АІВ, созданных с использованием одного и того же мультимодального запроса

| Параметр, см | RB | Среднее , 2025.03.14 | Среднее , 2026.04.22 | Средняя разница |
|--------------|------|-------------------------|-------------------------|--------------------|
| S_w | 44.6 | 44.72 ± 0.51 | 44.74 ± 0.52 | 0.02 |
| C_w | 33.3 | 33.54 ± 0.68 | 33.78 ± 0.50 | 0.24 |

| | | | | |
|----------|------|------------------|------------------|------|
| W_w | 29.5 | 29.17 ± 0.73 | 29.32 ± 0.58 | 0.15 |
| H_w | 35.3 | 35.76 ± 0.75 | 35.79 ± 0.67 | 0.03 |
| A_w | 9.1 | 9.75 ± 0.54 | 10.05 ± 0.39 | 0.3 |
| E_w | 8 | 8.49 ± 0.44 | 8.69 ± 0.38 | 0.2 |
| W_{wr} | 6 | 5.51 ± 0.30 | 5.66 ± 0.25 | 0.15 |

Таблица В.6- Отклонения проекционных параметров тела.

| Параметр, единица измерения (см, °) | Размерные признаки тела | | | | Отклонение между размерными признаками RB и | | |
|--|-------------------------|-------|------------------|------------------|--|-----------------|----------------|
| | RB | VB | AIB _A | AIB _B | $\Delta 1$ | $\Delta 2$ | $\Delta 3$ |
| Высотные параметры, см | | | | | | | |
| H | 182 | 182 | 182 | 182 | 0 | 0 | 0 |
| H _S | 149.2 | 144.2 | 146.7 | 150.7 | 5 | 2.5 | -1.5 |
| H _C | 131.6 | 130.7 | 136.7 | 132.6 | 0.9 | -5.1 | -1 |
| H _U | 84.5 | 85.8 | 87 | 84.8 | 1.3 | 3.5 | 0.3 |
| H _W | 114.5 | 117.4 | 120.2 | 116.7 | -2.9 | -5.7 | -0.2 |
| H _H | 90.3 | 93.1 | 97.6 | 93 | -2.8 | -7.3 | -2.7 |
| H _F | 150.3 | 150.7 | 152.8 | 150.7 | -0.4 | -2.5 | -0.4 |
| H _B | 157.9 | 153.7 | 155.3 | 157.2 | 4.2 | 2.6 | 0.7 |
| MD_H | | | | | 0.7 ± 2.4 | -1.5 ± 3.5 | -0.6 ± 0.9 |
| Фронтальные ширины, см | | | | | | | |
| W _S | 44.6 | 45.3 | 42.8 | 45.2 | -0.7 | 1.8 | -0.6 |
| W _C | 33.3 | 32.5 | 32.7 | 32.9 | 0.8 | 0.6 | 0.4 |
| W _W | 29.3 | 29.5 | 27 | 28.8 | -0.2 | 2.3 | 0.5 |
| W _H | 35.3 | 35.3 | 35 | 35.1 | 0 | 0.3 | 0.2 |
| W _A | 9.1 | 9.4 | 9.6 | 9 | -0.3 | -0.5 | 0.1 |
| W _E | 8 | 7.7 | 8.2 | 8.5 | 0.3 | -0.2 | -0.5 |
| W _{Wr} | 6 | 5.7 | 5.8 | 5.2 | 0.3 | 0.2 | 0.8 |
| MD_W | | | | | 0.1 ± 0.5 | 0.7 ± 1.0 | 0.1 ± 0.5 |
| Профильные ширины, см | | | | | | | |
| D _C | 26.7 | 26.7 | 26.6 | 26.6 | 0 | 0.1 | 0.1 |
| D _W | 22.7 | 22.7 | 21.8 | 22.4 | 0 | 0.9 | 0.3 |
| D _H | 26.2 | 26.9 | 26.3 | 26.4 | -0.7 | -0.1 | -0.2 |
| D _A | 11.4 | 11.4 | 11.5 | 11.4 | 0 | -0.1 | 0 |
| D _E | 8.9 | 8.9 | 9.4 | 9 | 0 | -0.5 | -0.1 |
| D _{Wr} | 6.5 | 6 | 6.9 | 6.2 | 0.5 | -0.4 | 0.3 |
| MD_D | | | | | -0.03 ± 0.4 | -0.02 ± 0.5 | 0.07 ± 0.2 |
| Углы, ° | | | | | | | |
| $\angle E$ | 165.8 | 167.8 | 156.1 | 167.2 | -2 | 9.7 | -1.4 |
| $\angle 1$ | 19 | 20.7 | 25.8 | 17.7 | -1.7 | -6.8 | 1.3 |
| $\angle 2$ | 15 | 11.2 | 15 | 10.6 | 3.8 | 0 | 4.4 |

| | | | | | | | |
|------------|------|------|------|------|----------------|----------------|---------------|
| $\angle 3$ | 19.2 | 26.9 | 20.6 | 20.8 | -7.7 | -1.4 | -1.6 |
| MD_A | | | | | -1.9 ± 8.5 | 0.4 ± 10.9 | 0.7 ± 4.5 |

Таблица В.7- Сравнение точности между RC, VC и AIC (см, °)

| Параметр, единица измерения (см, °) | Размерные признаки пальто | | | Различия между RC и | |
|-------------------------------------|---------------------------|-------|-------|---------------------|----------------|
| | RC | VC | AIC | VC | AIC |
| | | | | $\Delta 6$ | $\Delta 7$ |
| Фронтальные ширины, см | | | | | |
| W'_C | 37.1 | 36.8 | 36.9 | -0.3 | -0.2 |
| W'_W | 37.3 | 35.8 | 36.5 | -1.5 | -0.8 |
| W'_H | 38.8 | 37.8 | 38.6 | -1 | -0.2 |
| W'_A | 9.0 | 10.8 | 9.6 | 1.8 | 0.6 |
| W'_E | 11.2 | 10.3 | 10.8 | -0.9 | -0.4 |
| W'_{Wr} | 11.4 | 9.5 | 10.3 | -1.9 | -1.1 |
| W'_S | 48.8 | 47.9 | 48.1 | -0.9 | -0.7 |
| MD'_W | | | | -0.7 ± 1.1 | -0.4 ± 0.5 |
| Профильные ширины, см | | | | | |
| D'_C | 33.9 | 28.8 | 33.7 | -5.1 | -0.2 |
| D'_W | 35 | 30.7 | 35.4 | -4.3 | -0.4 |
| D'_H | 35.4 | 30.3 | 36.2 | -5.1 | -0.8 |
| D'_A | 18.9 | 13 | 18.2 | -5.9 | -0.7 |
| D'_E | 17.3 | 13 | 16.4 | -4.3 | -0.9 |
| D'_{Wr} | 15.1 | 12 | 12 | -3.1 | -3.1 |
| MD'_D | | | | -4.6 ± 1.0 | -1.0 ± 1.1 |
| Углы, ° | | | | | |
| $\angle S'$ | 23.4 | 18.5 | 22.8 | -4.9 | -0.6 |
| $\angle A$ | 125.3 | 122.8 | 126.4 | -2.5 | -1.1 |
| MD'_A | | | | -3.7 ± 15.2 | -0.9 ± 3.2 |

Таблица В.8 - Точность AIB_C(см, °)

| Параметр, единица измерения (см, °) | Размерные признаки тела | | | Различия между размерными признаками RB и | | Различия между AIB _B и AIB _C |
|-------------------------------------|-------------------------|------------------|------------------|---|------------------|--|
| | RB | AIB _B | AIB _C | AIB _B | AIB _C | |
| | | | | $\Delta 3$ | $\Delta 4$ | $\Delta 5$ |
| Высотные параметры, см | | | | | | |
| | 182 | 182 | 182 | 0 | 0 | 0 |
| H_S | 149.2 | 150.7 | 146 | -1.5 | -0.8 | 0.7 |
| H_C | 131.6 | 132.6 | 132.2 | -1 | -0.6 | 0.4 |
| H_U | 84.5 | 84.8 | 84.8 | 0.3 | 0.3 | 0 |
| H_W | 114.5 | 116.7 | 114.1 | -0.2 | 0.4 | 0.6 |
| H_H | 90.3 | 93 | 91.4 | -2.7 | -1.1 | 1.6 |
| H_F | 150.3 | 150.7 | 148.4 | -0.4 | 1.9 | 2.3 |
| H_B | 157.9 | 157.2 | 157.2 | 0.7 | 0.7 | 0 |
| MD_H | | | | -0.6 ± 0.9 | 0.1 ± 0.8 | 0.7 ± 0.7 |
| Фронтальные ширины, см | | | | | | |
| W_S | 44.6 | 45.2 | 45.5 | -0.6 | -0.9 | -0.3 |

| | | | | | | |
|-----------------------|-------|-------|-------|---------------|----------------|----------------|
| W_C | 33.3 | 32.9 | 33.9 | 0.4 | -0.6 | -1 |
| W_W | 29.3 | 28.8 | 29.5 | 0.5 | -0.2 | -0.7 |
| W_H | 35.3 | 35.1 | 37 | 0.2 | -1.7 | -1.9 |
| W_A | 9.1 | 9 | 9.5 | 0.1 | -0.4 | -0.5 |
| W_E | 8 | 8.5 | 8.5 | -0.5 | -0.5 | 0 |
| W_{Wr} | 6 | 5.2 | 5.6 | 0.8 | 0.4 | -0.4 |
| MD_W | | | | 0.1 ± 0.5 | -0.6 ± 0.6 | -0.7 ± 0.6 |
| Профильные ширины, см | | | | | | |
| D_C | 26.7 | 26.6 | 25.9 | 0.1 | 0.8 | 0.7 |
| D_W | 22.7 | 22.4 | 22.8 | 0.3 | -0.1 | -0.4 |
| D_H | 26.2 | 26.4 | 26.0 | -0.2 | 0.2 | 0.4 |
| D_A | 11.4 | 11.4 | 11.2 | 0 | 0.2 | 0.2 |
| D_E | 8.9 | 9 | 8.8 | -0.1 | 0.1 | 0.2 |
| D_{Wr} | 6.5 | 6.2 | 6.2 | 0.3 | 0.3 | 0 |
| MD_D | | | | 0.1 ± 0.2 | 0.3 ± 0.3 | 0.2 ± 0.4 |
| Углы, ° | | | | | | |
| $\angle S$ | 22.8 | 23.5 | 24.3 | -0.7 | -1.5 | -0.8 |
| $\angle E$ | 165.8 | 167.2 | 166.1 | -1.4 | -0.3 | 1.1 |
| $\angle 1$ | 19 | 17.7 | 17.1 | 1.3 | 1.9 | 0.6 |
| $\angle 2$ | 15 | 10.6 | 11 | 4.4 | 4 | -0.4 |
| $\angle 3$ | 19.2 | 20.8 | 16.7 | -1.6 | 2.5 | 4.1 |
| MD_A | | | | 0.4 ± 3.1 | 1.3 ± 2.7 | 0.9 ± 2.4 |

Таблица В.9- Точность АИС с различными объёмно-силуэтными формами

| Параметр, единица измерения (см, °) | Формы | | | | | | | | | | | |
|--|----------------|------------|---------------|-----------------|------------|---------------|---------------|------------|---------------|---------------|------------|---------------|
| | Прилегающая | | | Полуприлегающая | | | Полусвободная | | | Свободная | | |
| | $S1$ | | | $S2$ | | | $S3$ | | | $S4$ | | |
| | RC_{S1} | AIC_{S1} | Δ_{S1} | RC_{S2} | AIC_{S2} | Δ_{S2} | RC_{S3} | AIC_{S3} | Δ_{S3} | RC_{S4} | AIC_{S4} | Δ_{S4} |
| Фронтальные ширины, см | | | | | | | | | | | | |
| W'_C | 35.2 | 34.8 | -0.4 | 35.6 | 35.4 | -0.2 | 36.5 | 36.5 | 0 | 38.7 | 38.6 | -0.1 |
| W'_W | 32.8 | 32.2 | -0.6 | 33.4 | 33 | -0.4 | 34.2 | 34.3 | 0.1 | 38.0 | 37.8 | -0.2 |
| W'_H | 35.4 | 35.8 | 0.4 | 36.6 | 36.5 | -0.1 | 38.0 | 37.8 | -0.2 | 39.8 | 39.2 | -0.6 |
| W'_A | 7.2 | 6.3 | -0.9 | 7.1 | 7.3 | 0.2 | 9.3 | 8.5 | -0.8 | 10 | 11.0 | 1 |
| W'_E | 8.3 | 7.8 | -0.5 | 9.9 | 10.3 | 0.4 | 11.6 | 12 | 0.4 | 12 | 13 | 1 |
| W'_{Wr} | 7.7 | 7.2 | -0.5 | 9.6 | 9.2 | -0.4 | 10.1 | 10.5 | 0.4 | 11.1 | 12.1 | 1 |
| WS | 43.3 | 43.7 | 0.4 | 44.2 | 44.5 | 0.3 | 46.3 | 46.9 | 0.6 | 47.5 | 47.7 | 0.2 |
| MD_W | -0.3 ± 0.5 | | | -0.03 ± 0.3 | | | 0.1 ± 0.4 | | | 0.3 ± 0.6 | | |
| Профильные ширины, см | | | | | | | | | | | | |
| D'_C | 29.3 | 30.9 | 1.6 | 31.9 | 32.8 | 0.9 | 33.2 | 33.6 | 0.4 | 33 | 33.5 | 0.5 |
| D'_W | 31.4 | 31.5 | 0.1 | 33.4 | 33.3 | -0.1 | 33.9 | 34.4 | 0.5 | 34.4 | 34.7 | 0.3 |
| D'_H | 33.2 | 34.5 | 1.3 | 36.1 | 35.9 | -0.2 | 36 | 36.4 | 0.4 | 36.4 | 37 | 0.6 |
| D'_A | 13.6 | 14.3 | 0.7 | 14.2 | 14.9 | 0.7 | 15.8 | 16.1 | 0.3 | 16.2 | 16.7 | 0.5 |
| D'_E | 12.7 | 12.1 | -0.6 | 13.7 | 14 | 0.3 | 15.4 | 15.4 | 0 | 16.2 | 16.4 | 0.2 |
| D'_{Wr} | 11 | 10.7 | -0.3 | 11.7 | 11.3 | -0.4 | 11.9 | 11.9 | 0 | 13.1 | 12.9 | -0.2 |
| MD_D | 0.5 ± 0.9 | | | 0.2 ± 0.5 | | | 0.3 ± 0.2 | | | 0.3 ± 0.3 | | |
| Углы, ° | | | | | | | | | | | | |
| $\angle S'$ | 30.9 | 32.6 | 1.7 | 29.3 | 29.8 | 0.5 | 28.4 | 27.9 | -0.5 | 26.5 | 26 | -0.5 |

| | | | | | | | | | | | | |
|------------|---------------|-------|-----|---------------|-----|-----|-------------|-------|-----|----------------|-----|---|
| $\angle A$ | 127.6 | 130.5 | 2.9 | 127.4 | 129 | 1.6 | 128.0 | 128.5 | 0.5 | 125 | 128 | 3 |
| MD_A | 2.3 ± 7.6 | | | 1.1 ± 7.0 | | | 0 ± 6.4 | | | 1.3 ± 22.2 | | |

Таблица В.10 - 2.5D-проекционные параметры сгенерированных ИИ пальто с рукавом реглан из хлопка, полиэстера и шерсти при четырёх заданных уровнях прибавки по груди (12, 16, 20 и 28 см).

| Параметр, единица измерения (см, °) | S1 | | | S2 | | | S3 | | | S4 | | |
|--|--------|-----------|--------|--------|-----------|--------|--------|-----------|--------|--------|-----------|--------|
| | Хлопок | Полиэстер | Шерсть | Хлопок | Полиэстер | Шерсть | Хлопок | Полиэстер | Шерсть | Хлопок | Полиэстер | Шерсть |
| W'_C | 33.9 | 34.2 | 34.8 | 35 | 34.9 | 35.4 | 36 | 36.5 | 36.5 | 37.9 | 38.3 | 38.6 |
| W'_W | 32.2 | 31.8 | 32.2 | 33.4 | 33.8 | 34 | 34.7 | 34.8 | 34.2 | 36.9 | 37.3 | 37.8 |
| W'_H | 36 | 35.9 | 35.8 | 36.9 | 36.5 | 36.5 | 36.3 | 37.3 | 38 | 38.4 | 38.7 | 39.2 |
| W'_A | 6.2 | 6.3 | 6.3 | 7.8 | 8.1 | 7.3 | 9.2 | 9.3 | 9.3 | 11.2 | 11.5 | 11 |
| W'_E | 8.3 | 7.5 | 7.8 | 10.7 | 10.9 | 10.3 | 11.2 | 11.5 | 11.6 | 12.8 | 13.1 | 13 |
| W'_{Wr} | 7.4 | 7.1 | 7.2 | 8.9 | 9.3 | 9.2 | 10.4 | 11.3 | 10.1 | 11.5 | 11.7 | 12.1 |
| W_S | 43.6 | 43.2 | 43.7 | 43.6 | 43.7 | 44.5 | 45.3 | 46 | 46.3 | 47.4 | 47.2 | 47.7 |
| D'_C | 29.3 | 30.6 | 30.9 | 30.2 | 31.4 | 32.8 | 32.4 | 33.1 | 33.2 | 33.2 | 33.4 | 33.5 |
| D'_W | 28.5 | 29.6 | 31.5 | 32.8 | 32.9 | 33.3 | 32.7 | 33.9 | 33.9 | 32.8 | 33.2 | 34.7 |
| D'_H | 33 | 33.5 | 34.5 | 34.7 | 35.1 | 35.9 | 35.9 | 36.7 | 36 | 36.9 | 37.3 | 37 |
| D'_A | 14 | 14.1 | 14.3 | 14.7 | 14.6 | 14.9 | 15.2 | 15.7 | 15.8 | 15.8 | 16.3 | 16.7 |
| D'_E | 12.6 | 12.6 | 12.1 | 12.9 | 13.4 | 14 | 15.0 | 15.6 | 15.4 | 16.1 | 16.4 | 16.4 |
| D'_{Wr} | 9.9 | 10.7 | 10.7 | 11.7 | 12.4 | 11.3 | 12.3 | 11.9 | 11.9 | 12.7 | 12.9 | 12.9 |
| $\angle S'$ | 30.2 | 32.2 | 32.6 | 27.9 | 30.1 | 29.8 | 27.3 | 29.3 | 28.4 | 25.3 | 25.9 | 26 |
| $\angle A$ | 134.2 | 140.6 | 130.5 | 137 | 141.1 | 129.2 | 134.2 | 130.2 | 128 | 130.4 | 137.8 | 128 |

Таблица В.11- Межтканевые различия 2.5D-проекционных параметров относительно базового варианта из шерсти для S1–S4.

| Параметр, единица измерения (см, °) | S1 | | S2 | | S3 | | S4 | |
|--|--------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|
| | Хлопок | Полиэстер | Хлопок | Полиэстер | Хлопок | Полиэстер | Хлопок | Полиэстер |
| W'_C | -0.9 | -0.6 | -0.4 | -0.5 | -0.1 | 0.1 | -0.6 | -0.2 |
| W'_W | 0 | -0.4 | -0.6 | -0.2 | -0.2 | -0.4 | 0.2 | 0.2 |
| W'_H | 0.2 | 0.1 | 0.4 | 0 | 0.1 | 0.4 | -0.4 | -0.3 |
| W'_A | -0.1 | 0 | 0.5 | 0.8 | -0.8 | -0.3 | 1.1 | -0.5 |
| W'_E | 0.5 | -0.3 | 0.4 | 0.6 | -0.9 | -0.2 | 0.8 | -0.7 |
| W'_{Wr} | 0.2 | -0.1 | -0.3 | 0.1 | -0.2 | -0.4 | 0.5 | 0.2 |
| W_S | -0.1 | -0.5 | -0.9 | -0.8 | 0.3 | -0.1 | -0.7 | 0.4 |
| D'_C | -1.6 | -0.3 | -2.6 | -1.4 | 1.1 | -1.2 | -0.2 | 2.3 |
| D'_W | -3 | -1.9 | -0.5 | -0.4 | -1.5 | -0.1 | -0.3 | -1.4 |
| D'_H | -1.5 | -1 | -1.2 | -0.8 | -0.2 | -0.4 | -0.4 | 0.2 |
| D'_A | -0.3 | -0.2 | -0.2 | -0.3 | 0.1 | 0.1 | -0.4 | 0 |
| D'_E | 0.5 | 0.5 | -1.1 | -0.6 | 1.1 | -0.5 | -0.1 | 1.6 |

| | | | | | | | | |
|-------------|------|------|------|------|------|------|-----|------|
| D'_{wr} | -0.8 | 0 | 0.4 | 1.1 | -1.1 | -0.7 | 1.8 | -0.4 |
| $\angle S'$ | -2.4 | -0.4 | -1.9 | 0.3 | -0.7 | -2.2 | 2.5 | 1.5 |
| $\angle A$ | 3.7 | 10.1 | 7.8 | 11.9 | -1.8 | -4.1 | 16 | 2.3 |

Таблица В.12- Значения d_{12} и d_{13} сгенерированных ИИ пальто с рукавом реглан из хлопка, полиэстера и шерсти для четырёх заданных объёмно-силуэтных категорий, а также соответствующие интервальные диапазоны.

| Вид ткани | d_{12}, cm | | | | d_{13}, cm | | | |
|-----------|---------------------|---------|---------|---------|---------------------|---------|---------|---------|
| | S1 | S2 | S3 | S4 | S1 | S2 | S3 | S4 |
| Диапазон | 44.8... | 46.9... | 52.1... | 56.8... | 46.8... | 50.9... | 57.5... | 62.3... |
| | 46.8 | 52 | 56.7 | 70 | 50.8 | 57.4 | 62.2 | 73.4 |
| Хлопок | 45.3 | 49.1 | 53.8 | 60.3 | 48.8 | 54.1 | 58.4 | 63.4 |
| Хлопок | 46.8 | 51.1 | 53.9 | 61.3 | 50.2 | 55.6 | 59.5 | 64.5 |
| Шерсть | 46.8 | 49.9 | 53.3 | 60.3 | 50.7 | 54.7 | 59 | 64 |

Таблица В.14- Полные наборы данных проекционных параметров RC, AIC и VC для S1–S4.

| cm | RC | | | | AIC | | | | VC | | | |
|------------------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | S1 | S2 | S3 | S4 | S1 | S2 | S3 | S4 | S1 | S2 | S3 | S4 |
| W'_s | 22.7 | 23.5 | 25.8 | 26.5 | 22.7 | 23.2 | 24.7 | 27 | 21.5 | 20.8 | 20.3 | 26.5 |
| W'_c | 18.2 | 18.8 | 20.5 | 20.6 | 18.3 | 18.9 | 20 | 20.7 | 18.5 | 18.5 | 19.6 | 19.6 |
| W'_w | 19.3 | 20.1 | 20 | 20.5 | 18.6 | 19.3 | 20 | 21.2 | 18.2 | 19.5 | 20.1 | 20.4 |
| W'_H | 18.4 | 21.7 | 22 | 22.8 | 18.3 | 21.4 | 22 | 23.2 | 18.5 | 20.4 | 21.3 | 21.5 |
| W'_A | 8.7 | 9 | 10 | 11.5 | 8.8 | 9.3 | 10.5 | 11.7 | 7.4 | 8.1 | 9 | 9.5 |
| W'_E | 10.2 | 10.4 | 11 | 12 | 10.3 | 11.2 | 11.9 | 12.3 | 10.5 | 10.5 | 9.8 | 11.2 |
| W'_{wr} | 10.4 | 11.6 | 12.5 | 13.7 | 9.4 | 11.4 | 12 | 13.8 | 8.4 | 9.8 | 10.6 | 10.8 |
| $\angle S'$ ° | 22.7 | 22 | 23.6 | 24 | 25.5 | 24.5 | 25 | 23.6 | 18.7 | 19.3 | 17.4 | 18.3 |
| $\angle A$ ° | 139.5 | 140 | 138.9 | 138 | 137.2 | 138 | 137.8 | 139.8 | 138.7 | 130.6 | 130.6 | 130.6 |
| D'_c | 30.8 | 31.4 | 32.2 | 32.8 | 30.9 | 31.4 | 32.9 | 33.6 | 32.3 | 30.8 | 32.2 | 32.2 |
| D'_w | 31.8 | 32.3 | 33.6 | 34.7 | 32.8 | 33.8 | 34.1 | 35.7 | 33.3 | 31.9 | 33.5 | 32.8 |
| D'_H | 33.5 | 34.3 | 35 | 36.2 | 33.8 | 35.5 | 36 | 37.7 | 32.9 | 32.7 | 35.1 | 35.7 |
| D'_A | 14.5 | 15.3 | 16 | 18.7 | 14.8 | 15.3 | 16.7 | 18.3 | 14.6 | 15.3 | 15.2 | 15.6 |
| D'_E | 13.2 | 13 | 13.9 | 17.7 | 13.3 | 13.7 | 14.7 | 17 | 14.5 | 16.8 | 15.7 | 17.3 |
| D'_{wr} | 11.9 | 13.4 | 14 | 15.6 | 11.9 | 12.5 | 13.9 | 15.3 | 12.7 | 14.9 | 13.4 | 13.8 |

Таблица В.14- Базовая структура промпта для итеративного уточнения AIC.

| № | Пункт | Содержание |
|---|-------|---|
| 1 | Роль | Система итеративного уточнения изображений пальто с рукавом реглан, сгенерированных ИИ, на основе выявленных дефектов |
| 2 | Цель | Уточнить уже сгенерированное изображение AIC путём исправления указанных локальных структурных дефектов при сохранении корректного общего силуэта, взаимосвязи «изделие–тело» и согласованности вида. |

| | | |
|---|-------------------------|--|
| 3 | Основной приоритет | Локальная структурная коррекция при максимальном сохранении исходной корректной формы. Структурная точность, логика посадки «рукав–рука» и стабильность силуэта должны иметь приоритет над стилистическими вариациями или декоративными эффектами. |
| 4 | Входные параметры | Входные данные должны включать: (1) исходное сгенерированное изображение; (2) целевой вид — спереди, сбоку или сзади, в зависимости от задачи; (3) выявленный тип дефекта; (4) текстовое описание цели коррекции; (5) требование сохранить неизменённые области и исходную категорию силуэта. |
| 5 | Структурные ограничения | Уточнение должно быть сосредоточено только на области, связанной с дефектом. Корректный общий силуэт, категория изделия, длина пальто, топология рукава, поза тела и ориентация вида должны оставаться неизменными, если не указано иное. Уточнённый результат должен сохранять структуру рукава реглан и поддерживать правдоподобное взаимодействие между изделием и телом. |
| 6 | Политика стилизации | Низкий уровень стилизации и высокая структурная достоверность. Уточнённое изображение должно оставаться реалистичным, визуально стабильным и пригодным для сравнительной оценки. Во время уточнения следует избегать декоративного преувеличения и ненужного редирайна. |
| 7 | Негативный промпт | Не изменять дизайн изделия. Не изменять категорию силуэта. Не изменять позу тела, длину пальто или корректные структурные области. Избегать появления новых складок, искажённой геометрии рукава, неправильной формы низа рукава, чрезмерного сглаживания, перспективных искажений или несвязанных визуальных изменений. |
| 8 | Выходной результат | Уточнённое изображение АИС в том же виде, с исправленным указанным локальным дефектом и сохранённой корректной общей структурой «тело + пальто», пригодное для последующего визуального сравнения и оценки на основе проекционных параметров. |

Материалы по проверке и оценке эффективности предложенного метода проектирования пальто с рукавом реглан

Таблица С.1 - Традиционное построение конструкции пальто с рукавом реглан, см

| Участок | Правила построения |
|----------------------|---|
| 94'-940' | Увеличить глубину задней проймы на $(E(CG)-8)/3$ |
| 12-940'' | Задняя линия шва реглана |
| T10-T11, T10-T12, | 10см |
| T11-T13 | Угол «заднее плечо-рукав»: $T11-T12 / 2$ |
| T54-T540 | Смещение центральной линии рукава по низу рукава на 2 см. |
| T540-T56' | 8см-T556'-T50 |
| 94''-940'' | Увеличить глубину передней проймы $(E(CG)-8)/3$ |
| 27-940' | Передняя линия шва реглана |
| T10'-T11', T10'-T12' | 10см |
| T11'-T13'' | Угол «заднее плечо-рукав»: $T11'-T12' / 2+3$ |
| T54'-T540' | 2см |
| T52-T540' | 8см- T50-T52 |

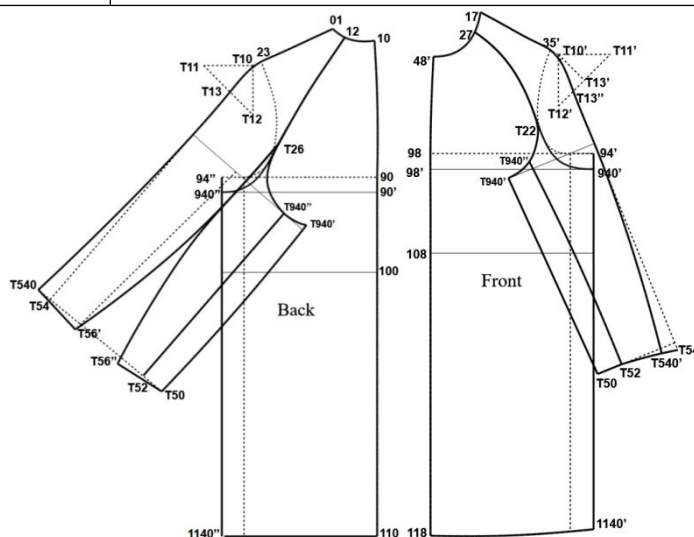


Таблица С.2 - Сравнение точности между реальным пальто и усовершенствованным реальным пальто (см, °)

| Параметр | Измерения пальто | | |
|------------------------|------------------|-------------|---|
| | RC | Improved RC | $\Delta = \text{Improved RC} - \text{RC}$ |
| Фронтальные ширины, см | | | |
| W'_c | 38.7 | 38.3 | -0.4 |

| | | | |
|--|------|------|----------------|
| W'_W | 38.1 | 38.1 | 0 |
| W'_H | 39.0 | 38.6 | -0.4 |
| W'_A | 6.7 | 8.6 | 1.9 |
| W'_E | 10.1 | 10.5 | 0.4 |
| W'_{Wf} | 9.1 | 9.5 | 0.4 |
| W'_S | 44.1 | 43.6 | -0.5 |
| MD'_W | | | 0.2 ± 0.8 |
| Профильные ширины, см | | | |
| D'_C | 31.2 | 30.5 | -0.7 |
| D'_W | 32.2 | 31.8 | -0.4 |
| D'_H | 31.9 | 31.5 | -0.4 |
| D'_A | 15.5 | 16.2 | 0.7 |
| D'_E | 16.7 | 15.6 | -1.1 |
| D'_{Wf} | 14.5 | 12.1 | -2.4 |
| MD'_D | | | -0.7 ± 1.1 |
| Углы, ° | | | |
| $\angle S'$ | 26.0 | 25.5 | 0.5 |
| $\angle A$ | 52.7 | 57.8 | 5.1 |
| MD'_A | | | 2.8 ± 29.2 |
| <i>Примечание: определения параметров приведены в таблице 2.7.</i> | | | |

Таблица С.3 - Определение и соответствие ключевых этапов разработки, использованных при сравнении инженерной эффективности

| № | Ключевой этап разработки в традиционном маршруте | Статус в предлагаемом маршруте | Основание для сокращения |
|---|--|--------------------------------|--|
| 1 | Анализ стиля и определение размера | Сохранён | Базовый входной этап необходим в обоих маршрутах |
| 2 | Корректировка базового прототипа | Сохранён, но сокращён | Сокращён за счёт использования скорректированного прототипа в качестве стабильной основы |
| 3 | Пробная корректировка линии членения реглана | Сокращён | Частично заменён установленной логикой построения конструкции |
| 4 | Пробное преобразование структуры рукава | Сохранён, но сокращён | Сокращён за счёт параметризованных процедур построения рукава |
| 5 | Корректировка подвижности в подмышечной области | Сокращён | Интегрирован в контролируемую настройку параметров конструкции |
| 6 | Построение воротника и лацкана | Сохранён | Фиксированный этап, зависящий от модели |
| 7 | Построение конструкции подкладки | Сохранён | Неизменный технический этап |

| | | | |
|----|---|-----------------------|--|
| 8 | Построение прокладочных и вспомогательных деталей конструкции | Сохранён | Неизменный технический этап |
| 9 | Согласование деталей конструкции и проверка соответствия | Сохранён, но сокращён | Сокращён за счёт предварительной проверки и более стабильных конструктивных взаимосвязей |
| 10 | Корректировка по макету / физической примерке | Сокращён | Частично заменена виртуальной и параметрической предварительной коррекцией |
| 11 | Первая корректировка после примерки | Сохранён | По-прежнему необходима для окончательного подтверждения |
| 12 | Вторая корректировка после примерки | Удалён | Исключён за счёт предварительной контролируемой коррекции и сокращения пробных итераций |

Таблица С.4 - Поэтапная оценка времени разработки первого образца с использованием традиционного и предлагаемого методов

| Этап | Традиционный метод, ч | Предлагаемый метод, ч | Включено в основной индекс эффективности | Примечание |
|---|-----------------------|-----------------------|--|--|
| Анализ стиля и подготовка прототипа | 4 | 1 | Да | Сокращено за счёт использования скорректированной основы прототипа |
| Основное конструктивное построение | 8,5 | 3,5 | Да | Сокращено за счёт параметризованного построения реглана |
| Построение конструкции подкладки и прокладочных деталей | 3,5 | 3,5 | Да | Неизменный технический этап |
| Проверка и коррекция | 3 | 1 | Да | Сокращено за счёт предварительной проверки |
| Промежуточный итог разработки конструкции | 19 | 9 | Да | Соответствует «времени разработки конструкции» в разделе 5.1.4 |
| Фиксированный пошив изделия | 7 | 7,0* | Нет | Рассматривается как постоянный производственный этап |

| | | | | |
|---------------------------------------|----|-------|-----|---|
| Корректировка, связанная с примеркой | 24 | 12 | Да | Два этапа примерки сокращены до одного |
| Общий итог этапа разработки | 43 | 21 | Да | Основной индекс эффективности, использованный в разделе 5.1.4 |
| Общий цикл разработки первого образца | 50 | 28,0* | Нет | Не используется в основном тексте |

Таблица С.5 - Расчётная структура стоимости разработки первого образца при одинаковом предположении о материале

| Статья затрат | Традиционный метод, RMB | Предлагаемый метод, RMB | Примечание |
|--|-------------------------|-------------------------|--|
| Прямые затраты на материал | 200 | 200 | Одинаковое предположение о материале |
| Стоимость разработки конструкции | 400 | 200 | Сокращена за счёт параметризованного рабочего процесса построения |
| Стоимость обработки и коррекции образца | 200 | 100 | Сокращена вследствие меньшего числа корректировок, связанных с примеркой |
| Расчётная стоимость разработки первого образца | 800 | 500 | Соответствует разделу 5.1.4 |

ПРИЛОЖЕНИЕ D

Акты производственной проверки предложенного метода проектирования пальто реглан





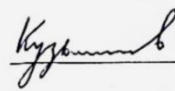

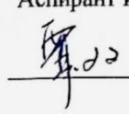

| | |
|--|---|
| <p>УТВЕРЖДАЮ Ректор ИВГПУ Никифорова Е.Н. " 14 " 2026 г.</p>   | <p>УТВЕРЖДАЮ Генеральный директор АО "Сударь" Степанова Е.К. " 14 " 2026 г.</p>   |
| <p>Акт приема модели на художественно-техническом совете АО "Сударь"</p> | |
| <p>На художественно-технический совет (далее ХТС) представлена модель пальто с рукавом реглан (мод.РЕ37R), разработанная Цзя Шуан, аспирантом ИВГПУ. Разработка лекала для мод.РЕ37R производилась под руководством заведующего кафедрой конструирования швейных изделий ИВГПУ Кузьмичевым В.Е.</p> | |
| <p>По предоставленным лекалам на АО "Сударь" было принято решение отшить образец пальто из ткани с высоким содержанием шерсти (70% шерстяное волокно, 30% полиэстр) в коллекции Осень-Зима 2026 года в размере 100/176.</p> | |
| <p>В процессе подготовки к пошиву были внесены изменения в лекала с целью их адаптации для внедрения в массовое производство. Примерка модели показала удовлетворительную посадку на фигуре. Модель пальто РЕ37R была презентована на ХТС, по результатам которого рекомендована к показу оптовым покупателем и дальнейшему запуску в массовое производство.</p> | |
| <p>Внедрение данной модели пальто позволит расширить модельный ряд верхней одежды предприятия АО "Сударь" и удовлетворить спрос потребителей различных возрастных групп.</p> | |
| <p>Заведующий кафедрой КШИ ИВГПУ</p> <p> Кузьмичев В.Е.</p> | <p>Руководитель Службы подготовки производства</p> <p> Кочетова Т.Ю.</p> |
| <p>Аспирант ИВГПУ</p> <p> С.Цзя</p> | <p>Старший инженер-технолог</p> <p> Гурова И.Ю.</p> |

Рисунок D.1 - Производственные записи проверки.



An act of results verification
obtained in Jia Shuang' dissertation

We, the undersigned Y. Shuifang, pattern technician S. Liping, technologist, from Polargoose Clothing co.,Ltd (China), on the one side, and V. Kuzmichev, Head of Clothing Design Department, and S.Jia, graduate student, from IVGPU (Russia), on the other side, have compiled this act after the validation of the results obtained in the dissertation "Development of male raglan coat design process".

Date of verification July 2025 – September 2025.

The object of implementation is the pattern-making technique for male raglan coat.

Implementation conditions are: (1) software of drawing garments (ET, BUYI Technology, China); (2) software of digital twins simulation (Style 3D, Linctex Co., Ltd., China); (3) a fabric type is melton woolen fabric with next fiber content, %: wool - 60, viscose - 20, polyester - 20; (4) the pattern blocks of coat.

The enterprise was provided four raglan coats with different shapes and the ease allowances of chest girth respectively, cm: 12, 16, 20, and 28. All coats have been designed in terms of the developed pattern blocks.

All produced raglan coats were tested by trying on a men with normal morphology and basic sizes, cm: height - 182, chest girth - 100, waist girth - 84. The try-on result shown that due to developed method of pattern-making all coats produced have optimal fit and accurate shapes.

CONCLUSIONS. (1) The developed pattern-making method allows to produce raglan coat with good fit. (2) The outline shapes of coats met the requirement of enterprise, will use to improve the coat design and to get more high level of consumer satisfaction.

From Polargoose Clothing co.,Ltd
Y. Shuifang
S. Liping
www.polargoose.com

From IVGPU
V. Kuzmichev
S. Jia
www.ivgpu.com