

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Казанский национальный исследовательский технологический
университет»

На правах рукописи



СУЛЕЙМАНОВА ЕЛЕНА АЛЕКСАНДРОВНА

**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ СОЗДАНИЯ ЦИФРОВЫХ
ДВОЙНИКОВ ЖЕНСКИХ ПЛАТЬЕВ РАЗНЫХ
СИЛУЭТНО-ОБЪЕМНЫХ ФОРМ**

2.6.16. Технология производства изделий текстильной и легкой
промышленности

ДИССЕРТАЦИЯ
на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
доктор технических наук, доцент
Тихонова Наталья Васильевна

Казань – 2025

ОГЛАВЛЕНИЕ

СПИСОК УСЛОВНЫХ СОКРАЩЕНИЙ И ОБОЗНАЧЕНИЙ	6
Введение	7
ГЛАВА 1. АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ РАЗВИТИЯ ЦИФРОВОЙ МОДЫ И ТЕХНОЛОГИЙ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЦИФРОВЫХ МОДЕЛЕЙ ОДЕЖДЫ	18
1.1. Обзор современного состояния и направлений совершенствования процессов цифровизации модной индустрии от проектирования до реализации продукции	18
1.2. Анализ форм представления и функций цифровой одежды	29
1.3. Анализ формы цифровой одежды, способов ее создания и исследования	35
1.3.1. Элементы цифрового представления формы одежды	35
1.3.2. Взаимосвязь внешней формы фигуры человека и внешней формы цифровой одежды	47
1.3.3. Методы создания и преобразования формы цифровой одежды	51
1.3.4. Методы исследования внешней формы цифровой одежды	57
1.3.5. Математические модели плоских разверток деталей и поверхности формы цифровой одежды	67
1.4. Исследование технологий создания цифровой одежды	73
1.4.1. Технологии создания цифровых 2D моделей одежды и их анализ	73
1.4.2. Технологии создания цифровых 3D моделей одежды и их анализ	80
1.5. Задачи диссертации	91
Выводы по главе 1	93

ГЛАВА 2. ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ	95
2.1. Аватары цифровой среды и манекены типовых женских фигур	95
2.2. Плоские развертки деталей женских платьев и их математические модели	111
2.3. Внешняя форма моделей женских платьев прямого, трапециевидного и овального силуэтов разных объемных форм в цифровой и реальной средах	148
Выводы по главе 2	165
ГЛАВА 3. РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ ЖЕНСКИХ ПЛАТЬЕВ	167
3.1. Методика оценки цифровых двойников одежды	167
3.2. Методика экспертной оценки визуальной идентичности цифрового двойника женского платья внешней форме материального образца	182
3.3. База данных цифровых моделей женской однослойной плечевой одежды	215
3.4. Алгоритм технологии создания и преобразования цифровых двойников женских платьев разных силуэтно-объемных форм	219
Выводы по главе 3	228
ГЛАВА 4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА РАЗРАБОТАННОЙ ТЕХНОЛОГИИ	230
4.1. Апробация разработанной технологии при создании моделей женских платьев с применением различных цифровых образцов материалов	230
4.2. Апробация разработанной технологии при создании плечевой и поясной женской одежды с использованием различных программ трехмерного проектирования	237

4.3. Промышленная апробация технологии и обоснование экономической эффективности ее применения	246
Выводы по главе 4	255
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	257
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	260
ПРИЛОЖЕНИЯ	282
ПРИЛОЖЕНИЕ А. Акты внедрения и апробации результатов диссертационного исследования	283
ПРИЛОЖЕНИЕ Б. Алгоритм построения и расчет конструктивных участков чертежа базовой конструктивной основы	287
ПРИЛОЖЕНИЕ В. Чертеж базовой конструктивной основы стана женского платья размера 164-92-98	291
ПРИЛОЖЕНИЕ Г. Графические интерпретации контуров деталей женских платьев разных силуэтно-объемных форм и их математическое описание	292
ПРИЛОЖЕНИЕ Д. Дополнительная примерка материальных образцов изделий на манекены	304
ПРИЛОЖЕНИЕ Е. Оценка результата цифрового проектирования внешней формы женских платьев	313
ПРИЛОЖЕНИЕ Ж. Оценка визуальной идентичности внешней формы цифровых моделей и материальных моделей женских платьев	315
ПРИЛОЖЕНИЕ И. Рекомендации по устранению дефектов конструктивных параметров плоских разверток деталей женских платьев	317
ПРИЛОЖЕНИЕ К. Изображения примерки материальных образцов и цифровых трехмерных моделей после корректировки исходных модельных конструкций	327

ПРИЛОЖЕНИЕ Л. Изображения наложения цифровых трехмерных моделей и сканов материальных образцов в программе трехмерного проектирования Blender	339
ПРИЛОЖЕНИЕ М. Результаты сравнения внешней формы материального образца и цифровых моделей поясного изделия «юбка-солнце», созданных в программах Clo3D и Style3D	343

СПИСОК УСЛОВНЫХ СОКРАЩЕНИЙ И ОБОЗНАЧЕНИЙ

Сокращения

БК	— базовая конструкция лифа,
БД	— база данных,
ГП	— групповой показатель,
ЕП	— единичный показатель,
САПР	— система автоматизированного проектирования,
ТЗ	— техническое задание.

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Важной частью современного процесса проектирования становится создание трехмерных пространственных моделей одежды. Трехмерная визуализация ускоряет процесс проектирования и экономит материальные и трудовые ресурсы. Ключевым аспектом современных разработок является получение моделей одежды в цифровой среде, которые должны быть идентичны реальным изделиям. Значительный прогресс достигнут в области обеспечения идентичности формы изделий прилегающих и полуприлегающих силуэтов, повторяющих пластику аватаров в установлении причин, вызывающих схожие дефекты посадки цифровых и реальных моделей одежды. Особую актуальность приобретают вопросы повышения качества цифрового результата при создании объемной одежды со сложным рельефом поверхности и геометрической структурой. Для достижения такого результата необходимо решить технологические аспекты корректного задания параметров цифрового трехмерного манекена, корректной цифровой интерпретации показателей физико-механических свойств текстильных материалов, достижения сбалансированной посадки одежды на аватаре.

Данная проблема приобретает особую значимость при проектировании одежды для российского потребителя. Большинство программ для цифрового трехмерного проектирования разработаны в странах Европы, США, Кореи и Китае. Соответственно, стандартные аватары (цифровые манекены), используемые в этих программах, изначально адаптированы под особенности населения стран-разработчиков и не учитывают антропометрические особенности российского населения. Это актуализирует задачу по адаптации ресурсов данных программ для проектирования одежды для российского рынка.

Кроме того, не решена проблема совместной валидации и верификации цифровых моделей и материальной одежды. На сегодняшний день доминирует метод экспертных оценок, который не дает однозначной количественной интерпретации. Поэтому совершенствование процесса цифрового проектирования моделей одежды разных объемных форм, ориентированных на антропометрические и культурные особенности российского потребителя, является актуальной задачей.

Степень разработанности темы исследования. Существенный вклад в развитие методов проектирования одежды с применением цифровых 2D и 3D технологий внесли отечественные ученые Андреева Е.Г., Петросова И.А., Гальцова Л.О., Гетманцева В.В., Гусева М.А., Коблякова Е.Б., Копылова М.Д., Коробцева Н.А., Лунина Е.В., (РГУ имени А.Н. Косыгина), Кузьмичев В.Е., С. Пэн, Ч. Шичао, Ло Юнь, Ли Юэ и Я. Цзяци, Сахарова Н.А. (ИВГПУ), Москвин А.Ю., Москвина М.А., Раздомахин Н.Н., Сурженко Е.Я. (СПбГУПТД), Черунова И.В. (ДГТУ), зарубежные исследователи Pascal Bruniaux, François Boussu, Xianyi Zeng, MulatAlubel Abtew, Maria Carmen Loghin, GeLei, Kaixuan Liu и др. Результаты исследований способствовали совершенствованию существующего 2D и 3D программного обеспечения (Ассоль, СТАПРИМ, Clo3D, Style3D, Assyst, Marvelous Designer, 3dsMax, Optitex, Vidya, Lectra и др.) для проектирования одежды и ее виртуальной примерки.

Вопросы формообразования одежды, свойств ее формы в целом и поэлементно составляют область научных интересов Андросовой Э.М., Гориной Г.С., Ивлевой Г.С., Кобляковой Е.Б., Козловой Т.В., Медведевой Т.В., Пармона Ф.М., Романова В.Е., Хамматовой В.В., Черемных А.И. и др. Результаты данных исследований задают вектор развития современных отечественных научных работ в области цифрового формообразования одежды Алибековой М.И., Андреевой Е.Г., Балланд Т.В., Гогужева Д.Н., Дембицкого С.Г., Кузьмичева В.Е., Макаревич М.В., Максач В.В.,

Прокоповой Е.В., Рогожина А.Ю., Сафроновой И.Н., Терещенко М.Д., Фирсовой Ю.Ю., Чижик М.А., Юркова В.Ю. и др.

Исследования соответствия формы цифровой одежды реальному образцу получили развитие благодаря работам ученых Политехнического университета (Гонконг, Китай), Пусанского университета, Университета Умм аль-Кура, Университета штата Луизианы, а также научных школ РГУ им. А.Н. Косыгина и Ивановского государственного политехнического университета.

Несмотря на большое количество выполненных работ отсутствуют исследования по разработке технологии создания цифровых моделей женской плечевой одежды объемных форм в зависимости от конструктивных приемов получения прямого, трапецевидного и овального силуэтов с высокореалистичной визуализацией и качественной посадкой на фигуре.

Работа выполнена в ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет».

В диссертационной работе изложены результаты научных исследований автора с 2022 по 2025 гг. в области проектирования изделий легкой промышленности.

Область исследования соответствует научной специальности 2.6.16. Технология производства изделий текстильной и легкой промышленности: п. 11. Развитие процессов и методов художественного проектирования ИТЛП на основе рациональной размерной типологии населения, требований ЕСКД, современных информационных технологий, творческих источников и направлений моды; п. 15. Разработка процессов выбора, примерки, оценки качества ИТЛП и оценки свойств материалов в реальной и цифровой среде; п. 25. Методы и средства теоретического и экспериментального исследования процессов проектирования и изделий дизайна.

Цели и задачи. Целью работы является разработка технологии проектирования цифровых моделей женских платьев с разной силуэтно-объемной формой.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Исследовать морфологические признаки внешней формы цифровых аватаров и манекенов типовой женской фигуры.

2. Исследовать внешнюю форму женских платьев и изучить приемы ее конструктивного формообразования для получения разных силуэтно-объемных форм женской однослойной плечевой одежды.

3. Разработать алгоритм конструирования и математического описания плоских разверток деталей визуально различных моделей женских платьев.

4. Разработать систему показателей оценки внешней формы платьев и степени ее визуальной идентичности материальному образцу.

5. Создать базу данных цифровых плоских разверток деталей и цифровых двойников женских платьев разных силуэтно-объемных форм с качественной посадкой на фигуре.

6. Разработать технологию создания цифровых двойников женских платьев однослойной плечевой одежды с использованием разработанной базы данных, приемов конструктивного моделирования и системы оценки цифровых двойников.

7. Апробировать разработанную технологию при создании моделей женской однослойной одежды.

Научная новизна работы.

1. Разработана методика получения внешней формы цифровых двойников женских платьев, соответствующих заданным параметрам, на основе рекомендаций по подбору цифрового аватара и манекена, способов

конструктивного формообразования разных силуэтно-объемных форм и условий проведения примерки.

2. Разработана методика экспертной оценки двухмерных изображений цифровых двойников женских платьев для проверки их визуальной идентичности внешней форме материальных образцов на основе метода семантического дифференциала.

Теоретическая значимость работы.

1. Получены математические модели плоских разверток деталей стана женских платьев прямого, овального и трапециевидного силуэтов с разными показателями объемности форм. Разработана схема «градиация формы» контуров плоских разверток деталей станов трапециевидного силуэта для получения визуально различимых моделей женской однослойной плечевой одежды.

2. Разработана система показателей и критерии оценки цифровых двойников женских платьев на основе формализации проектного образа, выбора цифровой техники и программного обеспечения, выбора способа создания и/или преобразования цифрового двойника, задания параметров и настройки цифрового двойника фигуры и проверки соответствия полученной цифровой формы одежды заданным параметрам.

3. Разработана система показателей и критерии оценки визуальной идентичности цифровых двойников женских платьев и материальных образцов, позволяющая установить правильность принятых конструкторских решений.

4. Разработан алгоритм технологии проектирования цифровых двойников женских платьев разных силуэтно-объемных форм, основанной на использовании параметризованных плоских разверток деталей и их симуляций.

Практическая значимость работы.

1. Разработаны рекомендации для задания параметров морфологических признаков цифровых аватаров и выбора манекенов, учитывающие соответствие изгибов шейного и поясничного отделов позвоночника, наклонов плечевых скатов, а также конфигураций контуров сечений тел по основным конструктивным поясам, которые в дальнейшем можно учитывать при совершенствовании процесса оценки качества посадки одежды.

2. Создана цифровая база данных двухмерных и трехмерных цифровых моделей женской однослойной плечевой одежды разных силуэтно-объемных форм.

3. Разработана технология создания цифровых моделей одежды на основе базы данных плоских разверток деталей и симуляций женской однослойной плечевой одежды разных силуэтно-объемных форм, методов преобразования силуэтно-объемной формы приемами конструктивного моделирования и системы оценки результата цифрового проектирования.

Результаты диссертационной работы успешно прошли апробацию в ООО «Сервис МК» (г. Казань) и внедрены в производство ООО «Харизма» (г. Казань). Ожидаемый экономический эффект от внедрения разработанной технологии составляет 2,7 млн. руб. Полученные результаты могут быть использованы в образовательном процессе вузов при подготовке специалистов отрасли, в работе практикующих конструкторов одежды и совершенствовании систем автоматизированного трехмерного проектирования.

Объекты исследования: процесс создания и преобразования формы цифровых трехмерных моделей одежды.

Предмет исследования: внешняя форма и конструкция женской однослойной плечевой одежды разных силуэтно-объемных форм в цифровой и реальной средах.

Методология и методы исследований. В работе использованы общенаучные методы исследования: анализ и синтез теоретического и практического материала, группировка и сравнение, математическое моделирование, а также системный подход для обеспечения достоверности и целостности диссертационного исследования. В ходе экспериментальных исследований применены методы экспертных оценок, сравнительного анализа, антропометрических измерений, статистической обработки экспериментальных данных, расчетно-графические методы получения разверток деталей одежды для типовых фигур.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Алгоритм получения плоских разверток деталей, необходимых для генерации цифровых двойников женских платьев с визуально различимыми объемными формами прямого, овального, трапециевидного силуэтов, включающий использование приемов конструктивного моделирования – параллельное и коническое разведение, – для целей создания и преобразования новых цифровых моделей одежды.

2. Методика оценки результата процесса цифрового проектирования двухмерных и трехмерных моделей одежды, включающая систему групповых и единичных показателей и критерии их оценки.

3. Методика экспертной оценки визуальной идентичности внешней формы цифрового двойника и материального образца, включающая систему показателей, критерии и условные шкалы по методу семантического дифференциала.

4. База данных цифровых моделей плоских разверток деталей и цифровых двойников женских платьев силуэта «трапеция», «прямой» и «овал» разного объема.

5. Технология создания и градации цифровых двойников женских платьев разных силуэтно-объемных форм.

6. Результаты апробации разработанной технологии при создании различных изделий и экономическая целесообразность ее промышленного внедрения.

Достоверность полученных результатов и выводов базируется на согласованности теоретических и экспериментальных результатов, использовании современных методов и средств проведения исследований. Проверка технологии создания и преобразования цифровых моделей женской плечевой одежды выполнена в ходе проектирования станок разных объемно-силуэтных форм, с разным конструктивным устройством и используемыми приемами формообразования в различных программах трехмерного проектирования специального и общего назначения.

Апробация работы и публикации. Результаты работы обсуждались на следующих конференциях: VIII Международная научно-практическая конференция «Биотехнология и автоматизация обработки кожи и меха» (Улан-Удэ, 2022), Республиканская школа студентов и аспирантов «Жить в XXI веке» (Казань, 2023), VII Всероссийская заочная научно-практическая интернет-конференция с международным участием «Дизайн XXI века» (Тула, 2023), Всероссийская научно-практическая конференция «Молодежь. Наука. Творчество» (Омск, 2024, 2025), Всероссийская конференция ученых, аспирантов и студентов с международным участием «Новации в процессах проектирования и производства изделий легкой промышленности» (Казань, 2023, 2024, 2025), Всероссийская (с международным участием) молодежная научно-техническая конференция «Молодые ученые – развитию Национальной технологической инициативы» (ПОИСК) (Иваново, 2023, 2024).

Личный вклад автора состоит в определении цели и основных задач исследования; выборе методов исследования; проектировании и разработке экспериментальных образцов женской однослойной плечевой одежды в цифровой и реальной средах; выполнении научных экспериментов;

обработке и интерпретации экспериментальных данных по оценке идентичности внешней формы цифровых 3D моделей и реальных образцов. Автором лично или при его непосредственном участии проведена работа по публикации результатов исследований в виде статей в отечественных журналах.

Публикации. Результаты работы отражены в 17 печатных работах, в том числе в 5 статьях, входящих в перечень научных журналов и изданий, рекомендованных ВАК Минобрнауки России, в 2 статьях в научных журналах, индексируемых международной базой данных Scopus, остальные – в материалах конференций различного уровня.

Структура и объем работы: Диссертация состоит из введения, четырех глав, выводов и приложений. В тексте приведены ссылки на 166 литературных источников. Работа изложена на 349 страницах машинописного текста (с приложениями), содержит 117 рисунков и 38 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении представлено обоснование актуальности темы диссертационной работы, поставлена цель и определены задачи для ее достижения, представлены научная новизна и практическая значимость полученных результатов, приведена структура диссертационной работы.

В первой главе проанализированы процессы цифровизации модной индустрии и современные технологии проектирования цифровых моделей одежды, выявлена актуальная проблема необходимости совершенствования процессов разработки цифровых моделей одежды разных силуэтно-объемных решений. Рассмотрены трактовки и понимания академическим сообществом и представителями модной индустрии понятия цифровой одежды, выделены его главные признаки и сферы

применения. Исследованы характеристики цифровой одежды, выделены элементы ее цифрового представления ее внешней формы, способы их создания и исследования.

Во второй главе определены объекты исследования: цифровые аватары программ трехмерного проектирования; манекены типовых женских фигур, соответствующие антропометрическим особенностям телосложения женского населения России; плоские развертки деталей женских платьев, полученные путем преобразования базовой основы приемами конструктивного моделирования – параллельное и коническое разведение; внешняя форма цифровых двойников и материальных образцов моделей женских платьев визуальными различимых силуэтов и объемов. Цифровые аватары и манекены типовых женских фигур выступают субъектами проектирования внешней формы и конструкции женских платьев разных силуэтно-объемных форм в цифровой и реальной средах, которые в свою очередь являются объектами проектирования. Обоснован выбор методов, оборудования и компьютерного программного обеспечения для проведения исследования.

В третьей главе разработана методика оценки внешней формы цифровых двойников женских платьев. Представлены результаты апробации данной методики при оценке объектов исследования. На основе разработанной методики предложена система показателей и критерии оценки визуальной идентичности цифрового двойника внешней форме материального образца. Представлена методика экспертной оценки визуальной идентичности по двумерным изображениям на основе метода семантического дифференциала. Установлен уровень визуальной идентичности разработанных цифровых моделей. Создана база данных плоских разверток деталей женской однослойной плечевой одежды и их симуляций, реализованная посредством режима «Modular» программы Clo3D. На основе полученных экспериментальных результатов разработан

алгоритм проектирования цифровых моделей женских платьев разных силуэтно-объемных форм.

В четвертой главе представлены результаты апробации разработанной технологии при создании изделий из различных цифровых образцов материалов, а также с использованием программ трехмерного проектирования специального и общего назначения в ходе проектирования плечевых и поясных изделий. Проведена производственная апробация, которая подтвердила возможность внедрения технологии в производственный процесс промышленного предприятия и выполнены расчеты экономической эффективности ее внедрения.

ГЛАВА 1. АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ РАЗВИТИЯ ЦИФРОВОЙ МОДЫ И ТЕХНОЛОГИЙ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЦИФРОВЫХ МОДЕЛЕЙ ОДЕЖДЫ

В данной главе произведен обзор современного состояния и направлений совершенствования процессов цифровизации модной индустрии, рассмотрены трактовки понимания цифровой одежды академическим сообществом и представителями модной индустрии. Выделены формы представления двухмерных и трехмерных моделей цифровой одежды и их функции. Проведен анализ понятия «форма цифровой одежды», выделены характеристики внешней формы цифровой одежды, способы ее создания и методы исследования. Рассмотрены и формализованы технологии создания 2D и 3D моделей цифровой одежды. Определены цель и задачи исследования. Результаты данной главы опубликованы в статьях [13, 14, 62, 70, 87-90, 145-148].

1.1. Обзор современного состояния и направлений совершенствования процессов цифровизации модной индустрии от проектирования до реализации продукции

В настоящее время нарастает потребность в применении цифровых инструментов в индустрии моды. Данная потребность обуславливает появление таких терминов как цифровая мода, цифровая одежда и т.п., которые с каждым годом все чаще обсуждаются в научных публикациях и интернет-сообществе.

Р. Турбина [1], основатель проекта Replicant, дизайнер марки Orhelica, автор первого проданного «диджитал лука» в России и первой цифровой коллекции для Puma, выделила пять тезисов цифровых перспектив развития моды.

Первый тезис «Цифровая одежда – почти обычная одежда». Одежда, которая создается в специальных 3D редакторах, например Clo3D или Marvelous Designer, и имеет все физические свойства, что и настоящая: изготавливается по лекалам, для нее используются разные ткани и материалы, к которым можно задать реальные физические свойства. Но она существует только в «диджитал-измерении». Примерка цифровой одежды осуществляется в 3D-редакторе на фото человека самостоятельно или при помощи специалиста [1].

«Цифровой одежды очень много уже сейчас!» – это второй тезис. В настоящее время цифровую одежду разрабатывают не только дизайнеры-модельеры, но к ним добавились новые специалисты, имеющие опыт в «одевании» персонажей компьютерных игр [1].

В третьем тезисе утверждается, что «диджитал изменит сегодняшнюю моду»: производство ускорится и станет экологичнее. Производственный цикл изготовления одежды в условиях цифровой моды реализуется в 3D программах по созданию визуального образа будущего изделия и построению лекал, и только по предзаказу отшиваются вещи, чтобы не производить больше товаров, чем существует спрос [1].

«Появятся цифровые дизайнеры» утверждает Р. Турбина в четвертом тезисе будущего цифровой моды: появятся дизайнеры, которые раньше никогда не делали одежду. Работа в 3D-программах позволит им попробовать себя в моде и высказать свой необычный взгляд от человека, который занялся одеждой впервые [1].

В заключительном тезисе утверждается, что «Гардероб будущего – частично диджитальный». Поскольку мы рассматриваем развитие цифровой одежды, значит, каждому покупателю цифровой одежды понадобится новое цифровое приложение, в котором он будет хранить свою цифровую одежду [1].

Несмотря на то, что в модной индустрии и интернет-сообществе все говорят о цифровой одежде, нет четкого определения ее базовым понятиям, плохо прослеживается разница между «цифровой одеждой» и «виртуальной одеждой».

Так авторы [2] определяют понятие цифровой моды, как виртуальную версию современной модной индустрии. Определяют цифровую моду как результат работы специальной цифровой программы, которая позволяет получить трехмерную статичную или анимированную одежду.

Группа авторов [3] раскрывает понятие цифровой одежды как компьютерной графики, трехмерного изображения костюма, созданного в графическом редакторе с использованием новейших технологий программного обеспечения.

Анализ цифровой одежды проводится учеными из Российского государственного университета имени А.Н. Косыгина, но определение цифровой одежды ими не рассматривается, зато подробно указывается место цифровой одежды в индустрии моды: существование в социальных сетях, устойчивое развитие и упрощение процесса производства [4].

Дизайнеры-практики пользуются понятиями «виртуальная одежда», «диджитал-лук», «цифровой лук», «digital-лук», «виртуальный лук». Автор проекта Replicant.Fashion [5] объясняет, что «цифровой лук – это одежда, созданная в специальных 3D приложениях, которая переносится на ваше фото. В реальности ее нет». Также в статье [5] подчеркивается, что для дизайнера создание цифровой одежды это «новый опыт самовосприятия и взаимодействия с окружающим миром и людьми», а цифровые луки «дают безграничные возможности для самовыражения» их владельцев. Цифровые луки могут быть сделаны из несуществующих в реальности материалов, имеющих различные текстуры, цветовые решения и не всегда подчиняющихся физическим законам.

Авторы публикации [6] на платформе vc.ru понимают под виртуальной одеждой «костюмы, платья, джинсы, куртки, обувь, созданные дизайнерами в цифровом трехмерном виде в специальных программах для 3D моделирования (Marvelous Designer, Clo3d, Substance Painter)».

В интернет-публикациях российского дизайнера Алены Ахмадуллиной [7] нет конкретного определения диджитал-лука, она пользуется несколькими названиями для определения своих цифровых разработок, но в основе создания диджитал-луков бренда Akhmadullina лежит глобальная идея в стремлении к осознанному потреблению. Автор пропагандирует использование цифровых образов в социальных сетях как доступную для каждого человека возможность внести свой вклад в экологию.

Исследуя работы зарубежных ученых и дизайнеров-практиков, можно сделать вывод о том, что в целом нет определений таких понятий как «виртуальная одежда», «диджитал-лук», «цифровой лук», «digital-лук», «виртуальный лук», но подробно рассматривают причины и следствия развития и распространения цифровой моды.

Ученые [8] Высшей школы искусств, дизайна и архитектуры Университета Аалто (Финляндия) рассматривают цифровую моду как визуальное представление одежды, созданное с использованием компьютерных технологий и 3D программного обеспечения.

Основатель и креативный директор бренда Placebo Digital Fashion House (Швеция) Рои Дери говорит, что цифровая мода – это общий термин, который может включать в себя цифровую одежду, перенесенную на реальных людей, цифровое моделирование одежды из реального мира, цифровую одежду для наших будущих аватаров в виртуальном мире метавселенной или цифровые проекты, ориентированные на блокчейн, которые будут продаваться как NFT (уникальный цифровой актив, который

служит сертификатом подлинности и права собственности на цифровые объекты) [9].

Зарубежные авторы [10] в своих работах подчеркивают, что цифровые технологии глубоко интегрированы как в индустрию моды, так и в опыт клиентов и потенциальных клиентов, т.е. опираются на цифровые умения современного поколения.

Основатели компании из The Fabricant (Нидерланды), лидера в цифровой моде, видят свою миссию в том, чтобы привести индустрию моды к новому сектору цифровой одежды, которая не тратит ничего, кроме данных, и не использует ничего, кроме воображения [11]. В таком подходе дизайнеры The Fabricant раскрывают личность клиента, позволяют ему проявить свое самовыражение и творчество, и именно это лежит в основе их продукции.

Рассмотренные выше трактовки и понимания позволили установить, что:

- термин «виртуальная одежда» чаще употребляется по отношению к одежде, созданной в 3D редакторах для ее использования в соцсетях, виртуальных играх, метавселенных;
- термин «цифровая одежда» активно используется применительно к составным частям костюма – одежде, обуви, аксессуарам, в контексте цифровизации производственного процесса, т.е. первоначальной визуализации модели изделия в цифровой среде, ее примерки и устранении дефектов посадки на цифровом аватаре с дальнейшим изготовлением изделия.

Однако в ГОСТ 170037-2022 используется одновременно оба термина и цифровая одежда рассматривается как виртуальная одежда, созданная с использованием информационных технологий и существующая в цифровом пространстве [12].

В настоящем исследовании под цифровой одеждой понимается объект, представляющий собой предмет одежды, созданной в цифровой среде 2D и 3D проектирования, который может иметь разную форму представления и функциональную направленность. Исходя из цели и задач его проектирования, он может: создаваться и существовать только в виртуальной среде как объект дизайна; создаваться в цифровой среде в ходе стандартного процесса проектирования на этапе эскизного проекта, включая задание параметров поверхности цифрового аватара, разработку элементов одежды и их оценку для дальнейшего воспроизведения в виде физического аналога; создаваться на основе физического объекта для его преобразования в цифровой формат с последующим использованием в виртуальной среде.

Тематический обзор современных исследований в области цифрового проектирования швейных изделий [13, 14] показал, что они сосредоточены на развитии методов преобразования плоских разверток деталей одежды в трехмерные объекты и решении обратной задачи – «из 3D в 2D»; улучшении точности и реалистичности виртуальной примерки [15]; внедрении методов глубокого обучения в процесс проектирования одежды [16, 17]; персонализации и учете индивидуальных особенностей фигуры человека для решения проблемы подбора одежды [18].

Исследование [19] представляет всесторонний и структурированный обзор современных исследований, посвященных развитию 3D виртуальной примерке. В работе [20] предложен метод захвата и синтеза изображений каждого предмета одежды и представлены результаты использования метода для смены виртуальных костюмов на видеоконференциях. В работе [21] авторы разработали метод 3D оцифровки одежды из 2D изображений, что может найти применение в онлайн розничной торговле, позволяя быстро создать высокореалистичный каталог 3D одежды. Новейшее исследование [22] представляет всесторонний обзор моделей виртуальных

примерок на основе глубокого обучения, уделяя особое внимание их функциональности, техническим деталям, использованию наборов данных, влиянию на удовлетворенность клиентов. Ожидается, что будущие тенденции развития этой технологии будут сосредоточены на оптимизации алгоритмов, поскольку достижения в области глубокого обучения и искусственного интеллекта еще больше повысят точность и реалистичность 3D виртуальной примерки; усовершенствовании оборудования, поскольку развитие технологии приведет к снижению стоимости датчиков и сканирующих устройств и сделают технологию 3D-сканирования более доступной для отдельных пользователей и розничной торговли; интеграции технологии 3D виртуальной примерки с социальными сетями, дополненной реальностью (AR) и технологиями виртуальной реальности (VR), обеспечивая более захватывающий и персонализированный опыт покупок. Например, в 2023 году компания Indestry представила Vyu Try-on Mirror – зеркало с дополненной реальностью (AR), обеспечивающее пользователям возможность примерки одежды в цифровом формате. Данное решение использует сканирование скелетной структуры пользователя в реальном времени, что позволяет достигать высокой точности наложения виртуальной одежды на изображение человека [23]. Компания ZARA также внедрила AR-дисплеи в своих розничных магазинах, позволяющие клиентам оценивать внешний вид коллекций без необходимости физической примерки [24]. Это способствовало не только улучшению клиентского опыта, но и повышению уровня персонализации предложений в рамках цифрового ритейла. В своей работе [25] экспериментирует с применением технологий нейросетевых примерок на основе фотографии человека с учетом позы, освещения и фотографии одежды, «примеряя» на фигуру категории плюс-сайз одежду, не рассчитанную на данный размер, а также создает креативные видео-эксперименты с оживлением исторической личности [26], одетой в подиумные новинки. Правда, следует

отметить ограничение ИИ-примерки (примерка с применением технологии искусственного интеллекта) в отношении оверсайз одежды. Нейросеть может «растеряться» при определении насколько свободной должны быть одежда на конкретной фигуре. И при каждой новой генерации результат примерки одного и того же изделия будет различным.

Работы [27-32] ученых в направлении развития технологий проектирования одежды методами «2D в 3D» и «3D в 2D» представляют ценные данные в повышении качества разработки одежды, воспроизведении художественного замысла дизайнера и удовлетворенности потребностей потребителей. Например, в [33] представлен метод разработки плоских конструкций на 3D виртуальном манекене с использованием метода реверсивного инжиниринга, а в работе [34] изучали модификацию базовых 2D конструкций в зависимости от используемой ткани и определения соответствия между измерительными линиями 3D модели и 2D конструкции. Пример преимуществ применения технологий реверсивного инжиниринга рассмотрен в [35] для генерации цифровых двойников мужского и женского костюмов по русскому лубку.

Стремительное развитие систем автоматизированного проектирования 3D одежды (CAD) таких как Style 3D, Lectra Modaris 3D, Clo 3D, OptiTex 3D Runway, Browzwear VStitcher, Marvelous Designer и Assyst-Bullmer Vidya [36-40] позволило компаниям достигать целей устойчивого развития, включая экономию материалов и защиту окружающей среды за счет реализации метода обратного проектирования на основе машинного обучения [41], а также обеспечения персонализированного проектирования и учета индивидуальных физических особенностей [42]. Компания Nike использует передовые технологии 3D-сканирования для создания персонализированной спортивной экипировки. В основе системы лежат методы анализа и сравнения цифровых моделей с реальными изделиями, что обеспечивает

высокую точность посадки. Данная технология критически важна для производства профессиональной спортивной одежды, где точность подгонки напрямую влияет на эффективность использования изделия [43].

Методы сопоставления объемной формы трехмерных цифровых моделей с их физическими аналогами находят широкое применение в индустрии моды и научных исследованиях. В работах [44, 45] авторы приводят результаты оценки реалистичности виртуальных моделей женских пальто стиля оверсайз с аналогичными реальными моделями и делают вывод, что существующие программы 3D проектирования одежды не обеспечивают в полной мере идентичности виртуальных моделей атекнических форм их реальным прототипам. В работе [46] научной школы РГУ им. А.Н. Косыгина представлены методология оценки качества проектных решений одежды в виртуальной трехмерной среде и методика количественного сравнения виртуальной модели одежды с реальным образцом [47].

Важное значение на развитие существующих технологий создания цифровой одежды оказывают методы глубокого обучения применяемые в процессе проектирования одежды, которые меняют подход к ее созданию в целом. Так, например, с развитием генеративных моделей на основе диффузии [48, 49] широкое распространение получило создание 3D одежды на основе текстового промпта [50], анализа изображений и видео. Важным преимуществом методов глубокого обучения является их способность обрабатывать большие объемы данных, не полагаясь на отдельные изображения. Эта способность позволяет использовать весь объем ресурсов данных, содержащих информацию о различных свойствах материалов, условиях освещения и разнообразных стилях одежды, тем самым улучшая адаптивность и точность модели [51] для решения задач моделирования одежды с большим разнообразием стилей и сложностью, создания креативных и персонализированных моделей одежды. В исследовании [52]

предложен новый метод Double Reverse Diffusion (DReD), который использует технологию глубокого обучения для реконструкции реалистичных деталей одежды на основе изображений и информации о человеческом теле, что вносит значимый вклад в вопрос точного воссоздания исторических костюмов и сохранения культурного наследия.

Развитие методов машинного обучения способствовало получению более точных результатов систем предсказаний, так [53], обучая модель MGN, могут предсказать форму человеческого тела и геометрическую форму одежды из небольшого количества видеокадров, используя модели глубокого обучения для достижения ассоциации и переноса одежды с формой и позой человека. Внедрение систем предсказаний, основанных на математических моделях [54] прогноза и контроля современной формы одежды и ее конструктивных решений, актуально для компаний, занимающихся массовым кастомизированием и онлайн покупками, т.к. позволяет дизайнерам быстро, точно, интеллектуально и автоматически генерировать оптимальное дизайнерское решение, исходя из индивидуальных эстетических предпочтений и требований к фасону и посадке потребителя. Новейшая разработка [55] интеллектуальной прогностической системы по определению размера человека, позволяет предприятиям создавать одежду, которая более точно соответствует фигуре потребителя, тем самым улучшая показатели как качества посадки, так и эстетической ценности одежды.

Исследования [56-59] задают вектор развития отечественных научных работ и имплементации стремительно развивающихся цифровых технологий и методов глубокого обучения в области цифрового формообразования одежды, в т.ч. только цифровой одежды. В [60] представили метод развертывания поверхности и новый математический аппарат, позволяющие моделировать формообразование цифровой малообъемной одежды, а в [61] предложен подход к формообразованию и

моделированию поверхности объектов из драпируемого текстильного материала, позволяющий на основе математической модели использовать непрерывные преобразования для проектирования заданной формы одежды на фигуре человека. Формообразование цифровой одежды в [62] рассмотрели на примере субъекта проектирования – персонаж компьютерной игры. В данном случае субъект проектирования сразу определяет природу будущей одежды – цифровая, т.е. созданная одежда не будет воспроизведена физически, а следовательно цель ее создания – визуализация определенного художественного образа персонажа, поэтому одежда может быть создана и преобразована вне законов классического подхода к ее проектированию. Например, игровой художник сразу в процессе создания персонажа одновременно «вылепливает» одежду. В этом случае одежда будет неразрывно связана с персонажем и при его анимации будет «двигаться» вместе с ним. Развитие технологий 3D-печати также открыло новые возможности для формообразования одежды и аксессуаров. В частности, ведущие модные дома применяют данную технологию для изготовления уникальных элементов дизайна, недостижимых традиционными методами пошива. Кроме того, 3D-печать активно используется для прототипирования новых моделей одежды, что сокращает время на разработку и оптимизирует производственные издержки [63].

Анализ современных направлений исследований и практических кейсов демонстрирует, что виртуальные примерочные, AR-дисплеи, 3D-сканирование и -печать, кастомизированное производство одежды и обуви и т.п. способствуют повышению эффективности разработки дизайн-проектов, продвижению продукции и минимизации количества ее возвратов, повышению удовлетворенности потребителя. Однако нерешенными остаются вопросы, касающиеся внедрения цифровых технологий в процессы промышленного проектирования одежды, в частности: создания моделей одежды в виртуальной среде адекватных

физическим аналогам; повышения точности цифровых процессов 2D проектирования разверток деталей одежды и 3D моделей; повышения качества генерации свойств цифровых образцов материалов адекватных физическим образцам; соответствия цифровых моделей фигур реальным прототипам.

1.2. Анализ форм представления и функций цифровой одежды

Согласно представленному выше определению, под цифровой одеждой понимается цифровой объект в виде предмета одежды, созданный в цифровой среде 2D и 3D проектирования. Исходя из этого можно выделить плоскостные и объемные формы представления цифровой одежды (рис. 1.1).

2D (плоскостное) исполнение цифровой одежды передается такими формами ее представления, как:

- эскиз, созданный в 2D редакторах;
- цифровое фото физически существующего костюма;
- скан-копия и/или цифровое фото распечатанного фото;
- скан-копия и/или цифровое фото эскиза, выполненного вручную.

Объемные формы цифровой одежды (3D модели) могут быть представлены:

- моделями в объеме, полученными с применением технологий трехмерного сканирования;
- моделями в объеме, созданными в цифровой среде 3D проектирования, в т.ч. сгенерированные при помощи трёхмерной компьютерной графики и алгоритмов искусственного интеллекта;
- моделями в объеме, записанными на цифровую видеокамеру.

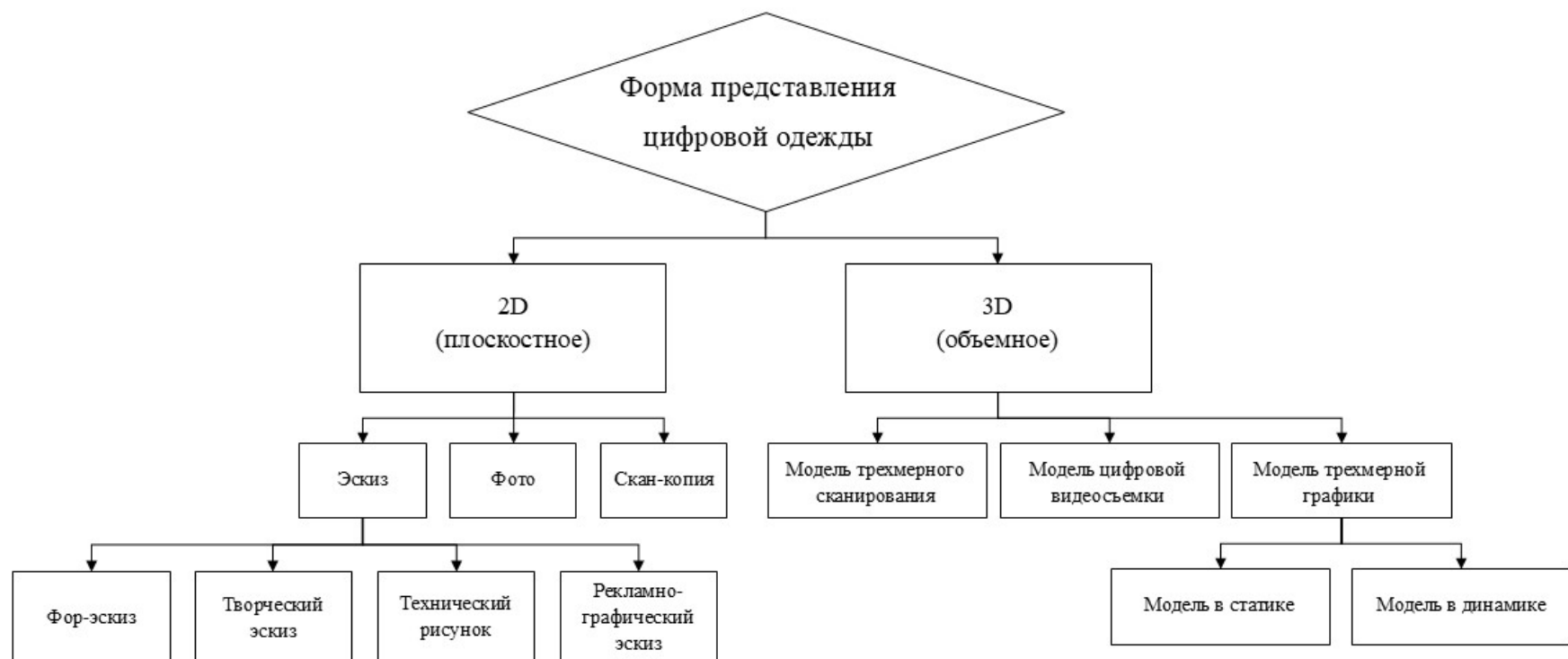


Рисунок 1.1 – Формы представления цифровой одежды

Для 2D плоскостной формы представления цифровой одежды используется векторная и растровая графика. В векторной графике используются точки, прямые, окружности, прямоугольники, кривые некоторого порядка для создания изображения. Каждый объект изображения имеет свои атрибуты такие, как толщина и вид линий, цвет заполнения и т.п. Векторное изображение хранится как набор координат, векторов и других чисел, что позволяет легко его редактировать, масштабировать без потерь, поворачивать и деформировать [64]. Растровая графика опирается на двумерный массив (матрицу) пикселей, в котором каждому пикселю соответствует значение яркости, цвета, прозрачности или их комбинация. Растровая графика, как двумерная матрица, всегда имеет какое-то число строк и столбцов, позволяет быстро создавать фотореалистичные работы [65].

Цифровые формы 2D моделей одежды находят применение в виде: технических эскизов в конструкторской документации промышленных предприятий; технических рисунков одежды с указанием размерных параметров, широко используемых в рекламных материалах компаний для продвижения продукции на онлайн-маркетплейсах; цифровых 2D художественных эскизов, позволяющих средним и крупным предприятиям отрасли формировать цифровую базу данных разработанных моделей одежды, а малым предприятиям – для презентации разрабатываемого ассортимента на официальном сайте предприятия и формирования контента для продвижения в социальных сетях; оцифрованных объектов культурного наследия, таких как исторические костюмы и аксессуары народов страны и мира, обретающих цифровую 2D форму для обеспечения сохранности и каталогизации, а также презентации в рамках онлайн арт-выставок и виртуальных экскурсий. Цифровые 2D фантазийные и реалистичные визуализации, созданные с помощью систем искусственного интеллекта, в т.ч. нейросетей, служат инструментом оптимизации

творческого поиска дизайнеров, позволяя в предельно короткое время создать множество вариаций для создания мудборда, образцов принтов и т.п.

3D модели цифровой одежды могут создаваться с помощью трехмерного сканирования, в программах трехмерной графики, алгоритмами искусственного интеллекта и за счет проведения цифровой видеосъемки реального предмета одежды или костюма целиком.

Трехмерное сканирование позволяет определить расстояние до объекта, преобразовать полученные данные в цифровое изображение (трехмерную модель) и передать его на компьютер. Сканер определяет координаты точек в пространстве на поверхности обрабатываемого объекта, анализирует их, формирует детальную цифровую модель. Технологии 3D сканирования делятся на контактную (контактирует с объектом) и бесконтактную (без контакта с объектом). Бесконтактные технологии наиболее перспективные, т.к. применяются на расстоянии и позволяют создавать копию труднодоступного объекта без физического контакта с ним. Среди бесконтактных 3D сканеров наиболее распространены оптическая и лазерная технологии. При активном принципе излучения сканер излучает структурированный, прерывистый свет (луч лазера), который направляют на исследуемый предмет. На основе анализа его отражения и положения формируется трехмерная копия объекта. При пассивном принципе – излучение сканера не происходит, а осуществляется анализ светового или инфракрасного (теплого) излучения объекта. Полученные аналитические данные активного и пассивного сканирования формируют 3D модель.

Трёхмерная графика основывается на полигональной и воксельной технологиях. В воксельной графике объект состоит из набора трёхмерных фигур, чаще всего кубов, что аналогично объектам растровой графики. А в полигональной компьютерной графике [66] объект состоит из набора

полигонов. Полигон – это минимальная поверхность геометрической фигуры, которая является основной для создания поверхности объекта. В качестве полигона обычно выбирают треугольники. Используемые в настоящее время 3D программы для создания цифровой одежды базируются на полигональной технологии. 3D программы позволяют использовать два взаимнообратных алгоритма создания цифровой одежды: «2D развертка деталей изделия – 3D модель» и «3D модель – 2D развертка деталей изделия».

3D модели цифровой одежды бывают статичные и анимированные. Такие модели сгенерированы при помощи трёхмерной компьютерной графики (CGI-графика) [67], а также алгоритмов искусственного интеллекта, создаются специализированными компьютерными программами на основе расчета и позволяют создавать эффекты, которые невозможно получить традиционным способом. Для работы с CGI-графикой и компьютерной анимацией (узкая область графики CGI) одновременно может использоваться несколько специализированных программ. Одни работают с динамикой, другие создают спецэффекты, третьи моделируют объекты. Существует ряд программ, где созданные элементы объединяются в одну целостную 3D сцену. Такие CGI-модели целесообразно применять для создания цифровых костюмов и персонажей для кино, виртуальных игр, метавселенных, маркетплейсов, арт-выставок, показов и т.п.

3D модели цифровой одежды могут использоваться для: проведения виртуальных примерок [68]; визуализации изделий перед запуском в производство; обеспечения возможности работать по предзаказам за счет цифрового показа коллекции продавцам и клиентам; получения коммерческой выгоды – часть коллекции можно выпустить только в цифровом виде, тем самым заняв новый сегмент рынка – одежда для

персонажей метавселенных; как эффективный инструмент маркетинга и т.п. [37].

Рассмотренные формы представления позволяют выделить следующую классификацию цифровых моделей одежды: *модели Ф-Ц* – созданные в реальном мире и преобразованные в цифровые формы; *модели Ц-Ц* – созданные и существующие только в цифровом пространстве; *модели Ц-Ф* – созданные в цифровом пространстве для дальнейшего воспроизведения в физические формы. Цифровые модели физически существующих аналогов или будущего изделия одежды, созданные с использованием данных о их физических характеристиках, материалах, дизайне и производственном процессе, принято определять цифровыми двойниками. Они позволяют смоделировать поведение одежды в реальных условиях, оптимизировать производственные процессы, отслеживать её состояние на протяжении жизненного цикла и прогнозировать возможные проблемы еще до производства или во время эксплуатации. В рамках данного исследования под цифровыми двойниками будут пониматься модели Ц-Ф, создаваемые в цифровой и реальной средах с использованием единых плоских разверток деталей, подобных физико-механических свойств материалов и технологии изготовления.

Каждая из моделей классификации имеет свою функциональную направленность, которая зависит от цели и задач ее проектирования.

Функции моделей и их сравнение с функциями физической одежды [69, 70] представлены в таблице 1.1.

Как видно из таблицы 1.1. защитно-утилитарные функции физической существующей одежды для цифровой одежды становятся менее актуальными, так как человек физически ее не использует, а лишь воспринимает ее визуально.

Таблица 1.1 – Сравнение функций цифровой и физической одежды

Функции одежды		Физическая одежда	Модель Ф-Ц	Модель Ц-Ц	Модель Ц-Ф
Защитно-утилитарные	Защитная	V	-	-	V
	Утилитарная	V	-	-	V
	Физиолого-гигиеническая	V	-	-	V
Информационно-эстетические	Социальная	V	V	V	V
	Воспитательная	V	V	V	V
	Информационная	V	V	V	V
	Морально-этическая	V	V	V	V
	Художественно-эстетическая	V	V	V	V
	Визуально-коммуникативная	V	V	V	V
	Религиозная	V	V	V	V

Исключение составляют лишь модели Ц-Ф, так как их цифровые формы в последующем преобразуются в физические изделия. Функции информационно-эстетической группы являются значимыми как для физической одежды, так и для цифровой одежды.

1.3. Анализ формы цифровой одежды, способов ее создания и исследования

1.3.1. Элементы цифрового представления формы одежды

Вопросы формообразования одежды, зависимости формы одежды от фигуры и возраста человека, свойств формы в целом и ее элементов, графического анализа формы и изображения одежды костюма составляли

область научных интересов Черемных А.И., Гориной Г.С., Кобляковой Е.Б., Бердник Т.О., Козловой Т.В., Пармона Ф.М., Медведевой Т. В., Андреевой Е.Г., Гетманцевой В.В., Гусевой М. А., Кузьмичева В.Е., Сахаровой Н.А., Балланд Т.В. и др. [71-89]. Опираясь на труды вышеназванных ученых, в данной работе под формой реальной одежды понимается определенная объемно-пространственная структура сложного трехмерного объекта, образующего предмет одежды вокруг фигуры человека при его одевании. Т.к. под цифровой одеждой понимается цифровая модель объекта проектирования, созданная в цифровой среде [90] для применения в цифровом пространстве, ее форму можно определить как цифровую объемно-пространственную структуру трехмерного объекта, расположенную на субъекте проектирования (т.е. аватаре, 3D манекене, трехмерной модели, воспроизводящей размерные признаки и параметры формы фигуры человека в точности или приближенно). Важно заметить, что цифровая одежда может являться цифровым прототипом реально существующей одежды, а может существовать только как самостоятельный цифровой объект. При этом цифровая одежда может быть создана в цифровой среде для последующего воспроизведения физически и применения в реальном мире. Такая одежда создается на стадиях цифрового проектирования и определяется как цифровая, а при физическом воплощении преобразуется в реальную.

Форму одежды в целом и ее частей образуют основные, дополнительные и декоративные элементы (части). Основные, функциональные части формы, определяют тип одежды и обеспечивают выполнение ею предусмотренных функций. Например, функциональными деталями платья являются детали стана – спинка и перед (полочки), у юбки – передние и задние полотнища, у брюк – передние и задние половинки [91].

Дополнительные функциональные части формы призваны создавать композиционное разнообразие модели и расширять ее функциональные

возможности. К дополнительным частям формы относят детали: воротников, рукавов, капюшонов, кокеток, вставок, карманов, манжет, манишек, поясов, хлястиков, пат, бретелей, застежек, поясов. Дополнительных частей может быть различное количество, они могут быть разнообразными по форме и по размеру и иметь различное целевое назначение [91].

Декоративные элементы формы служат для усложнения и украшения поверхности формы, придания определенной стилевой направленности. Они определяют лишь композиционные особенности построения изделия, не влияют на выполнение изделием функционального назначения. К декоративным частям формы одежды относят: воланы, рюши, жабо, кокилье, оборки, отделочные бейки, погоны, отделочные строчки, вышивку, термопечать, буфы, складки и т.д. [91].

Форму, размеры и число элементов формы одежды определяет ее покрой. Покрой есть конструктивное решение формы одежды, характеризующее ее членения на части и способы их соединения. На базе одной формы могут быть реализованы различные конструктивные решения. По покрою одежду различают на плечевую (блузы, платья, жакеты, пальто и т.п.) и поясную (юбки, брюки, шорты и т.п.).

Плечевая одежда характеризуется покроем рукава и членением стана (основных элементов). В зависимости от силуэтной формы и способа соединения с основными элементами (спинкой и передом) покрой рукава подразделяют на без рукава, втачной (классический, рубашечный, «фонарик», «крылышко»), реглан (классический, полуреглан, нулевой реглан, реглан-погон, арочный реглан), цельнокроеный (с ластовицей или без нее) и комбинированный (сочетание различных основных покроев рукава в одном изделии), а по количеству составных частей наиболее распространенными покроями рукавов считаются с одним швом (локтевым или нижним), с двумя (передним и локтевым или нижним и верхним) и

тремя (передним, локтевым и верхним) швами. Членение стана (спинка и полочки) образуется посредством продольных и поперечных швов, а также плечевыми, нагрудными и талиевыми вытачками. Продольное членение стана задает количество продольных швов (рельефов) плечевого изделия. В зависимости от количества продольных швов изделия подразделяют на бесшовные (в т.ч. с застежкой спереди), одношовные (застежка спереди и один средний шов на спинке), двухшовные (два боковых шва), трехшовные (два боковых шва и один средний шов на спинке), пятишовные (два боковых шва, один средний шов на спинке и два шва притачивания отрезных бочков) и шестишовные (два боковых шва и по два рельефных шва на спинке и полочке). Поперечное членение стана характеризует способ соединения лифа с юбкой и наличие кокетки (отрезная верхняя часть спинки или переда) плечевого изделия. По способу соединения лифа с юбкой изделия подразделяют на отрезные и неотрезные по линии талии. Характеристика элементов представления внешней формы женской однослойной плечевой одежды на примере стана приведена в таблице 1.2.

Характер покроя поясной одежды определяется покроем ее основных элементов (деталей) – передних и задних полотнищ юбок и передних и задних половинок брюк – то есть наличием продольных и поперечных членений, а также числом и месторасположением талиевых вытачек [91]. Покрой брюк по наличию продольных швов подразделяется на двухшовные (шаговые швы половинок брюк) и четырехшовные (боковые и шаговые швы половинок брюк), а покрой юбок имеет большую вариативность продольного разделения: бесшовные (состоят из одной детали), одношовные, двухшовные (два боковых шва), трехшовные (два боковых шва и один средний шов на заднем полотнище), четырехшовные (два боковых шва и по одному среднему шву на переднем и заднем полотнищах) и шестишовные (два боковых шва и по два рельефных шва на переднем и

заднем полотнищах). Покрой основных элементов брюк и юбок поперечного членения отличается наличием кокеток и подрезов.

Форма кроеной плечевой и/или поясной реальной (физической) одежды образуется посредством соединения плоских деталей, выполненных из того или иного материала, определенными методами технологической обработки. Следовательно, основной задачей, решаемой в процессе проектирования, является получение плоских деталей, т.е. разверток объемной формы на плоскости. Для получения плоских разверток деталей одежды применяют приближенные и инженерные методы конструирования. Приближенные методы опираются на данные об антропологических измерениях типовых или индивидуальных фигур, данные о прибавках, о типовом членении деталей и способах их формообразования.

К приближенным методам относятся муляжный и расчетно-графические (ЕМКО СЭВ, ЦОТШЛ, ЦНИИШП, МТИЛП, Мюллер и сын, французский метод, английский метод, швейцарский метод и др.) методы конструирования. Расчетно-графические методы конструирования получили широкое распространение при массовом производстве одежды, а муляжный метод – в проектировании одежды на индивидуального потребителя и одежды сложной формы.

При применении расчетно-графических способов процесс создания новых моделей одежды реализуется посредством построения разверток деталей одежды на плоскости чертежа с последующим воспроизведением в объемную форму путем соединения деталей. Он подразделяется на несколько этапов:

1. Получение базовой конструктивной основы изделия с учетом определенной степени прилегания и силуэта изделия.

2. Преобразование базовой конструктивной основы посредством приемов конструктивного моделирования с целью получения модельной конструкции изделия.

3. Проведение оценки полученной модельной конструкции по образцу изделия и внесение корректировок в конструкцию.

Так как форма одежды имеет сложную, объемно-пространственную структуру, поверхность которой характеризуется как неразвертываемая, т.е. не может быть развернута на плоскость точно и без каких-либо повреждений (разрывов и складок) [73], то полученные расчетно-графическим методом плоские развертки деталей одежды являются приближенным двумерным представлением проектируемой объемной формы на плоскости, состоящим из частей, каждая из которых получена посредством аппроксимации развертываемой поверхности. Следовательно, плоские развертки деталей одежды можно рассматривать лишь как условные и приближенные развертки ее частей на плоскость, а собранная из них объемно-пространственная форма также является приближенной и может потребовать внесения корректировок в расчеты и графическое построение.

Таким образом, к ограничениям расчетно-графических методов относят невысокую точность, громоздкость графических построений и расчетных формул, сложность в выборе величин прибавок, что способствовало развитию инженерных методов конструирования. Инженерные методы конструирования являются более точными и основаны на прямых измерениях оболочки развертываемой поверхности субъекта проектирования (манекена, трехмерной модели) или образца-эталона изделия. К ним относятся: метод триангуляции, метод геодезических линий, метод вспомогательных линий развертывания (разработан Г.Л. Труханом), метод секущих плоскостей (разработан А.П. Ивановой), метод конструирования разверток деталей одежды в чебышевской сети

(разработан А.В. Савостицким, усовершенствован М.В. Стебельским), метод цельнотканых конструкций деталей одежды (разработан МТИЛП). Сущность инженерных методов заключается в использовании свободного алгоритма, который осуществляет выбор оптимального решения из множества вариантов, и как следствие конструирование может производиться различными способами и их сочетаниями. Инженерные методы конструирования основываются на техническом, математическом и научном подходах для создания новых функциональных моделей одежды. Технический подход реализуется в применении специализированных программных комплексов (например, САПР) для автоматизированного проектирования и моделирования одежды, что ускоряет процесс и минимизирует ошибки. Математический подход реализуется в использовании математических уравнений и геометрических построений для точного описания поверхности формы с учетом антропометрических данных человека и динамики движений. Научный подход обеспечивает учет физико-механических свойств тканей (растяжимость, жесткость, драпируемость), что позволяет создавать изделия, которые хорошо сидят на фигуре и сохраняют форму в процессе эксплуатации.

Учитывая вышесказанное, элементами представления формы одежды являются развертки деталей одежды, полученные посредством применения приближенных или инженерных методов конструирования.

Основу проектирования формы цифровой одежды в целом и ее частей в 2D и 3D программах автоматизированного проектирования составляет геометрическое моделирование, позволяющее создавать функциональные и точные двумерные изображения и трехмерные модели проектируемых объектов. 2D-моделирование представляет собой процесс создания двумерного изображения на плоскости, где каждая точка описывается двумя координатами (x , y), отвечающих за ширину и высоту, а процесс 3D-моделирования включает еще одно измерение – глубину, за счет чего

создается трехмерная модель объекта или поверхности, каждая точка которой задана тремя координатами (x , y , z). Основными типами 3D-моделирования являются:

- каркасное моделирование – базовый тип 3D-моделирования, с помощью которого создается контур или скелет объекта в виде линий и кривых;

- поверхностное моделирование – создает цифровую детализированную гладкую поверхность объекта с помощью определения его границ, краев и кривых;

- твердотельное моделирование – продвинутый тип 3D-моделирования, основу которого составляет математическое моделирование, позволяющее построить модель полностью замкнутой и объемной с любой заданной точностью, что делает его идеальным для решения инженерных задач.

Данные типы 3D-моделирования подразделяются на подтипы по способу реализации: параметрическое, воксельное, полигональное, сплайновое, скульптинг, фотограмметрия и др. В программах специального и общего назначения для проектирования и представления элементов формы одежды реализуются параметрическое моделирование (3DСТАПРИМ и др.), полигональное моделирование (Clo3D, Style3D и др.), сплайновое моделирование (3ds Max и др.) и скульптинг (Zbrush и др.). В силу сложности пространственной формы одежды в программах автоматизированного проектирования (САПР) не используют твердотельное моделирование.

Элементами цифрового представления формы цифровых моделей одежды являются развертки деталей и объемно-пространственная структура их поверхности с определенной цифровой текстурой и заданными цифровыми свойствами используемых материалов.

Основу создания и визуального отображения элементов цифрового представления формы цифровой одежды в программах 2D и 3D проектирования в зависимости от заложенного в программах типа и подтипа моделирования составляют точки и линии. Поверхность элементов цифрового представления формы одежды представляет собой сетку из множества элементов (минимальных единиц двумерного или трехмерного пространства), каждый из которых образуется посредством соединения точек и линий. Тип моделирования определяет графическое представление минимальной единицы поверхности на плоскости или в пространстве, например, при воксельном моделировании минимальной единицей является воксель (от англ. «voxel» – объемный пиксель). В большинстве автоматизированных программ 3D проектирования одежды специализированного и общего назначения применяется полигональное моделирование, элементом которого является полигон (многоугольник). В качестве полигона чаще всего используется треугольник, так как он является простейшей и наиболее универсальной фигурой для построения сложных трехмерных моделей. Однако полигоны могут быть и четырехугольными (quad) или иметь больше сторон. Каждый полигон задается своими вершинами (вертексами от англ. «vertex» – вершина), ребрами, гранями и содержит информацию о нормалях (вектор, перпендикулярный поверхности полигона и используемый для расчета освещения и определения ориентации полигона в пространстве), текстурах (двумерное изображение (или трехмерный массив данных), которое накладывается на поверхность трехмерного объекта для придания ему визуальных характеристик сложной поверхности и задается UV-разверткой и UV-координатами) и других атрибутах, применяемых для создания реалистичной графики и визуализации трехмерных объектов.

Представленные выше типы и подтипы 3D-моделирования, заложенные в программное обеспечение для цифрового проектирования

одежды, составляют инструментальную основу способов создания и/или преобразования 3D моделей одежды.

Элементы цифрового представления формы цифровой одежды создаются в программах автоматизированного проектирования на основе геометрического 2D и/или 3D моделирования одним из способов или их комбинацией:

1. от 2D разверток деталей к 3D форме;
2. от 3D формы к 2D развертке деталей;
3. преобразование 3D формы;
4. от промпта к 3D форме.

Для целей проектирования цифровой одежды модели Ц-Ф традиционно используют первые два способа. Третий способ применим для модели Ф-Ц, в тех случаях, когда объект проектирования уже существует физически и требуется преобразовать его форму или воссоздать имеющуюся в точности из новых материалов, что актуально для задач сохранения объектов культурного наследия и реконструкции исторического костюма и нецелесообразно для создания новых моделей одежды. Четвертый способ обеспечивает быстрое создание цифровой одежды модели Ц-Ц на основе промпта (запрос в виде текстового описания, анализа изображения или видео) для ее реализации в цифровой среде.

Рассмотрим принцип работы первых двух способов создания и/или преобразования элементов цифрового представления формы цифровой одежды. Способ «от 2D разверток деталей к 3D форме» не обеспечивает высокую точность соответствия исходному формализованному проектному образу проектируемой модели с первой виртуальной примерки, т.к. форма создается посредством «сшивания» плоских разверток деталей, точность создания которых зависит от уровня визуально-пространственного интеллекта (мышления) специалиста, однако получил широкое распространение в профессиональной среде и применение в разработке

современного программного обеспечения автоматизированного проектирования одежды общего и специального назначения в виду его хронологически обусловленной традиционности применения.

Обратным к «от 2D разверток деталей к 3D форме» способу является способ «от 3D формы к 2D развертке деталей». Он является наиболее точным, но сложным с точки зрения реализации автоматизации процесса проектирования. Методы обратного инжиниринга реализованы в отечественном программном обеспечении 3DСТАПРИМ, где на основе параметрического моделирования посредством задания значений параметров формы в модуле «СТАПРИМ-1» создается 3D-каркас стана формы, который в последующем экспортируется в модуль «СТАПРИМ-моделирование», где посредством развертывания на плоскость создаются развертки деталей 3D-каркаса стана формы. Также реализация методов обратного инжиниринга для проектирования одежды представлена в программах Clo3D, Style3D, Marvelous Designer, Rhinoceros, где возможно непосредственно на поверхности тела аватара (цифрового субъекта проектирования) инструментами программы наносить и преобразовывать основные (функциональные) и дополнительные элементы формы. После чего созданная форма инструментами программы разворачивается на плоскость в виде разверток деталей (элементов формы) для дальнейшего моделирования и/или декорирования. Применение данного способа эффективно при разработке моделей одежды на индивидуального потребителя, а также для массового производства моделей одежды прилегающего и полуприлегающего силуэтов, однако создание моделей одежды силуэтов «трапеция», «прямоугольник» и «овал» разной степени объемности данным способом является трудозатратным.

1.3.2. Взаимосвязь внешней формы фигуры человека и внешней формы цифровой одежды

Особое значение в формообразовании одежды имеет ее взаимосвязь с формой и размерами тела человека, которое рассматривается как опорная поверхность, покрываемая одеждой. Условно тело человека можно подразделить на несколько участков. К таким участкам тела относятся голова, шея, плечи, грудь, живот, спина, ягодицы, предплечье, бедро и голень. В процессе формообразования одежды указанные участки тела выступают как основные конструктивные пояса, которые определяют форму и размеры одежды в этой области по горизонтали и вертикали [71]. В рамках исследования вопроса создания цифровых 3D моделей однослойной плечевой одежды разных силуэтов и разной степени объемности значимыми (основными) конструктивными поясами являются шейный, плечевой и грудной, дополнительными – талиевый, тазовый (бедренный) и коленный. Шейный конструктивный пояс учитывает положение горловины проектируемой одежды, плечевой – позволяет определить ширину одежды в плечах и учесть форму плеч различных фигур, а грудной имеет большое значение при определении степени объемности и ширины одежды по линии груди. Дополнительные пояса – тазовый (бедренный) и коленный – помогают оценить силуэт изделия и его параметры по линии бедер и линии колена. Основные конструктивные пояса образуют опорную поверхность.

При проектировании реальной (физической) одежды традиционными методами опорной поверхностью для нее является индивидуальная фигура человека – в сфере индивидуального пошива, или типовой манекен и/или модель для примерок – в массовом производстве. Типовой манекен и/или модель для примерок характеризуются типовыми размерными признаками и формой, которые более точно соответствуют фигуре целевого

потребителя. В среде цифрового проектирования в качестве опорной поверхности цифровой одежды выступают цифровые двойники фигур (субъекты проектирования). Цифровые двойники фигур в программах трехмерного проектирования одежды, как общего, так и специального назначения, в основном используются для визуализации виртуальной примерки и имеют различные наименования, например, аватар (Clo3D, Style3D, Marvelous Designer), 3D манекен (3DСТАПРИМ), трехмерная модель (3ds Max, Blender и др.). Все они воспроизводят размерные признаки и параметры формы фигуры человека в точности или приближенно в зависимости от поставленной цели и решаемых задач при проектировании одежды.

Таким образом среди цифровых двойников фигур можно выделить следующие их виды:

- трехмерная модель типовой фигуры (аватар и/или 3D манекен);
- трехмерная модель индивидуальной фигуры (аватар и/или 3D манекен);
- трехмерная параметрическая модель.

Трехмерные модели типовой или индивидуальной фигур, представленные в виде аватара, являются 3D графическим представлением формы тела человека, а 3D манекена – трехмерным графическим представлением формы стана фигуры человека. Под трехмерными параметрическими моделями понимаются 3D графические представления усредненных размерных значений и параметров формы фигуры человека, которые имеют упрощенную объемно-пространственную структуру/рельеф в виде простых геометрических фигур. Например, в виде двух усеченных конусов, соединенных малыми диаметрами.

Говоря о проектировании одежды в цифровой среде нельзя не отметить, что развитие методов глубокого обучения оказывает огромное значение как на развитие существующих технологий создания цифровой

одежды, так и меняет подход к ее созданию в целом. Так, например, с развитием генеративных моделей на основе диффузии широкое распространение получило создание 3D-одежды на основе текстового промпта (запроса), анализа изображений и видео. В этом случае цифровой двойник фигуры, как опорная поверхность, покрываемая одеждой, и имеющая определенные размерные значения и форму для создаваемой 3D одежды, в традиционном понимании физически и/или визуально может отсутствовать, но не быть задан в принципе не может. Задание параметров цифрового двойника фигуры основывается на информации о самом 3D-изделии (пол, возраст, размер, рост), точном или приближенном текстовом описании параметров цифрового двойника фигуры или методах анализа и синтеза информации по 2D изображениям и видео. Из вышесказанного следует отметить, что созданная таким образом 3D одежда является объектом только цифровой среды и может быть применена для целей а) цифровой визуализации создаваемого проектного образа; б) создания цифрового гардероба (пример создания виртуальных костюмов и их смены в ходе видеоконференций представлен в работе [92] ученых токийского университета); в) создания высокореалистичного цифрового каталога 3D одежды (пример внедрения каталога 3D одежды [93] в розничной онлайн-торговле индийской компании MYNTRA DESIGNS PRIVATE LIMITED); г) нейросетевых примерок [25, 94]; д) креативной индустрии (видеоигры, проекты NFT-искусства/-маркетплейсов, метавселенные, социальные сети и т.п.).

Среди рассмотренных выше видов цифровых двойников фигур в процессе промышленного проектирования цифровой одежды моделей Ц-Ф наиболее часто используются трехмерные модели типовых фигур – аватары. На сегодняшний день актуальной проблемой цифрового трехмерного проектирования одежды в России является несоответствие между антропометрическими данными аватаров программ и российскими

типовыми женскими фигурами. Так, в работе [95] авторами установлено, что при проектировании малообъемной формы платья трапецевидного силуэта наблюдается отклонение антропометрии и морфологии аватаров 3D программы от условно-типовых российских фигур. Это может быть обусловлено, во-первых, тем, что в основном программы трехмерного проектирования разрабатываются в странах Европы (Германия, Франция, Израиль), США, Корее и Китае, следовательно, стандартные аватары (цифровые манекены) программ изначально адаптированы под антропометрические особенности населения стран-разработчиков. Во-вторых, в программах реализованы иные подходы к измерению размерных признаков фигуры и, соответственно, заданию размерных параметров аватаров. Настройки программы позволяют изменять обхватные и высотные параметры аватаров, но только на тех участках поверхности аватара, где программным путем предусмотрено измерение размерного признака, что в ряде случаев не соответствует применяемому отечественному подходу к измерению размерных признаков женской фигуры для проектирования одежды согласно ГОСТу 31396-2009 [96]. Следовательно, достичь факсимильной точности между стандартным аватаром 3D программы и российской типовой женской фигуры в настоящее время не представляется возможным из-за разных подходов к измерению самих признаков.

Таким образом, рассмотренные выше положения, свидетельствуют о том, что несмотря на развитие существующих технологий и появление новых, меняющих традиционный подход к проектированию одежды, взаимосвязь внешней формы фигуры человека и формы одежды остается неизменной и неотъемлемой частью процесса ее создания как в реальной, так и в цифровой среде, а цифровая система «человек-одежда» требует ее совершенствования с точки зрения учета антропометрических особенностей населения стран потребителей проектируемой одежды.

1.3.3. Методы создания и преобразования формы цифровой одежды

Форма трехмерной цифровой одежды создается на стадиях цифрового проектирования посредством применения к ней в целом и ее частям определенного конструктивно-композиционного решения, назначения цифровых образцов материала с заданными свойствами и фактурой и формообразующих операций (симуляция сшивания элементов формы, программное формообразование, методом захвата и синтеза изображений в смешанной реальности и др.). В процессе работы создаются базовые формы, которые могут подвергаться дальнейшему преобразованию, т.е. дополнительному конструктивному моделированию или «достраиванию». Процесс создания и/или преобразования формы цифровой одежды рассматривается нами как трудно формализуемый, поэтому его анализ проведен с позиции применяемых методов и способов формообразования в трехмерном программном обеспечении.

Проведенное исследование 3D программ общего и специального назначения, используемых в швейной промышленности, позволило выделить два основных способа создания и/или преобразования формы моделей Ц-Ф цифровой одежды:

1. от 2D разверток деталей к 3D форме;
2. от 3D формы к 2D развертке деталей.

Первый способ предполагает создание и/или преобразование формы цифровой одежды из созданных в 3D программном обеспечении или импортированных в них 2D разверток деталей. Наиболее часто конструкторами для получения формы цифровой одежды в индивидуальном и массовом производстве применяется именно импорт 2D разверток деталей, созданных в графических или параметрических САПР на основе расчетно-графических методов конструирования одежды на

типовые или индивидуальные фигуры. Импорт файлов с 2D развертками деталей осуществляется в формате DXF ААМА/ASTM – стандарт, используемый в швейной и текстильной промышленности для обмена 2D и 3D данными между различными программами САПР. В научно-исследовательских целях и с целью сохранения объектов культурного наследия (например, реконструкция предметов исторических костюмов [97]) применяется импорт оцифрованных 2D фотоизображений исторических лекал (рис. 1.2) в 3D цифровую среду для получения в реальном размере цифровых 2D разверток деталей и создания из них внешней объемной формы цифровой одежды (рис. 1.3).

В работе [87] предложена технология виртуального проектирования объемно-пространственной формы методом от 2D конструкции к реалистичной 3D форме. Реализация технологии рассмотрена на примере стана женских платьев прилегающего, полуприлегающего и непрлегающего силуэтов для типовой фигуры 164-80-92 и разработана на основе анализа воздушных зазоров отсканированных платьев (проекций горизонтальных сечений) разных силуэтов на уровне грудного, талиевого и бедренного конструктивных поясов и выявления связей между 9 конструктивными параметрами чертежа и параметрами проекций сканированных платьев.

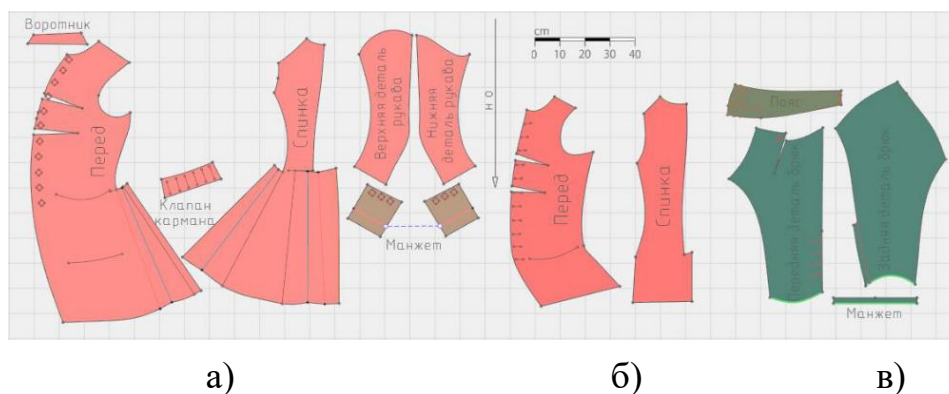


Рисунок 1.2 – Чертежи одежды, составляющих мужской костюм (а – кафтан, б – жилет, в – кюлоты) [97]



Рисунок 1.3 – Внешний вид виртуального двойника мужского костюма без детализации декоративными элементами [97]

Таким образом получены системы уравнений для расчета проекционных параметров. Данная технология состоит из трех блоков: информационное обеспечение, математическое моделирование проекционных форм платьев (2D конструкция) и математическое моделирование объемно-пространственных форм платьев. Для получения желаемого объема формы требуется осуществить перебор значений проекционных параметров, что делает ее применение достаточно трудоемким.

В работе [98] предложена авторская разработка информационной базы данных для оптимизации процесса проектирования объемно-пространственных форм, которая заключается в параметризации модели по фотоизображению (блок 1), формализации зависимостей для расчета основных силуэтных прибавок через параметризованные параметры (блок 2) и использовании разработанной схемы построения чертежа конструкции (блок 3) с учетом данных блоков 1 и 2. Данная разработка показывает хорошие результаты реализации на примере моделей платьев и пальто за 50-70-ые гг. 20 века и 2014-2015 гг. 21 века для которых характерны малообъемные формы полуприлегающих, неприлегающих и трапецевидных силуэтов. Однако применение данной разработки для моделей платьев прямого, трапецевидного и овального силуэтов разной степени объемности, соответствующих современным модным направлениям, становится затруднительным, так как по фотоизображению

невозможно точно параметризовать модель на уровне талии и бедер, где поверхность формы модели для средних и больших объемов может иметь складчатый характер.

К 3D программам, реализующим способ «от 2D разверток деталей к 3D форме», относятся программы общего назначения Clo3D (Корея) [99], Style3D (Китай) [100], Marvelous Designer (Корея) [101] и др. и специального назначения САПР Assyst (Германия) [102] и др. Оконный режим работы программ позволяет в режиме реального времени вносить правки в 2D развертки деталей (2D окно) и наблюдать результат преобразования в «сшитой» объемной форме (3D окно). Производимые конструктором в 2D окне изменения с использованием инструментов программы относятся к приемам конструктивного моделирования и носят графический характер, т.е. интерактивная взаимосвязь между параметрами 2D разверток деталей отсутствует. Этот аспект может являться ограничением для импортированных параметрических 2D разверток деталей, т.к. любое графическое изменение значения конструктивного параметра (например, ширины складки), внесенное в рамках цифровой примерки, приводит к изменению всех разверток деталей и не сохраняет заданных параметрических зависимостей. В данном случае конструктору после цифровой примерки в 3D программе необходимо самостоятельно, полагаясь на собственные профессиональные знания и опыт, в 2D САПР внести правки в алгоритм построения и задать новые значения конструктивных параметров с учетом результатов цифровой примерки.

Второй способ создания формы цифровой одежды – от 3D формы к 2D развертке деталей – также может быть осуществлен в названных выше программах общего назначения – Clo3D и Style3D, – приемами конструктивного моделирования и относится к графическому конструированию. Например, в программе Clo3D в режиме 3D окна конструктор с помощью инструментов «Create 3D Pen (Avatar)» и «Edit 3D

Pen (Avatar)» создает и преобразует конструктивно-композиционные линии элементов формы проектируемой модели сразу на поверхности аватара (субъекта проектирования) (рис. 1.4 а). Когда создание и/или преобразование элементов формы проектируемой модели завершено, с помощью инструмента «Flatten» конструктор производит развертку деталей формы на плоскость – создаются 2D развертки деталей и отображаются в 2D и 3D окнах (рис. 1.4 б). Однако, реализация данного метода ограничена применением только для создания форм прилегающих и полуприлегающих силуэтов и не подходит для создания форм разной степени объемности.



а)



б)

Рисунок 1.4 – Реализация метода «от 3D формы к 2D развертке деталей» в Clo3D

В качестве другого примера реализации второго способа создания и/или преобразования внешней объемной формы является российская САПР 3DСТАПРИМ [103]. Создание объемно-пространственной формы проектируемой модели (стана и рукава) осуществляется в трехмерной виртуальной среде с её последующей разверткой посредством задания конструктивных прибавок-зазоров. Сначала конструктор задает три основные прибавки (к полуобхватам груди, талии и бедер), затем – остальные известные и обусловленные конструкцией создаваемой формы (например, припуск к ширине горловины спинки и переда (b3); припуск к глубине проймы (b5); высота плечевой накладки (b9) и т.п.) (рис. 1.5).

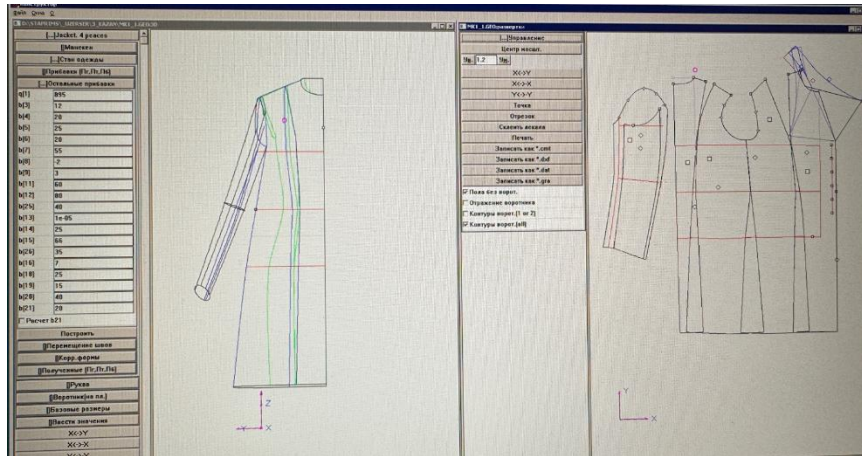


Рисунок 1.5 – Реализация метода «от 3D формы к 2D развертке деталей» в 3DСТАПРИМ [103]

В результате конструктор получает проект внешней трехмерной формы изделия с четкой фиксацией его пространственной формы (геометрический каркас). К ограничениям программы можно отнести трудоемкость процесса преобразования формы (необходимо опытным путем подбирать значения прибавок на различных конструктивных участках для достижения нужной геометрии линии на каждом отдельном участке формы), отсутствие визуализации формы в целом в фас и профиль (программа позволяет отображение только $\frac{1}{2}$ части формы) и отсутствие возможности визуализировать созданную форму в цифровом образце материала (форма создается в виде зафиксированного геометрического каркаса, в визуализации которого не учитывается влияние физико-механических свойств материала), что является важным критерием при проведении сравнения и оценки полученной внешней формы проектируемой модели.

Проведенный анализ используемых в швейной промышленности 3D программ показывает, что создание и/или преобразование пространственной формы цифровой одежды способом «от 2D разверток деталей к 3D форме» в режиме цифровых примерок осуществляется графически с помощью приемов конструктивного моделирования и в большей степени напоминает традиционный подход, при этом

параметризация процесса проектирования отсутствует. Реализованный способ «от 3D формы к 2D развертке деталей» в программах трехмерного моделирования, с одной стороны, ограничивает конструктора в выборе силуэтов создаваемых моделей, с другой стороны, является эффективным рабочим инструментом конструктора в решении задач по созданию форм прилегающих и полуприлегающих моделей одежды. Применение способа «от 2D разверток деталей к 3D форме» возможно для создания и/или преобразования пространственной формы цифровой одежды любого силуэта, объема и степени прилегания. В связи с этим особый интерес представляет исследование математического аппарата, используемого для создания плоских разверток деталей конструкций и объемных форм цифровой одежды.

1.3.4. Методы исследования внешней формы цифровой одежды

Согласно [71, 74, 75, 87, 104, 105] основными характеристиками формы реальной и цифровой одежды в целом и ее частей являются:

- геометрический вид формы;
- величина формы;
- масса формы;
- физико-механические свойства и фактура материала;
- цвет и рисунок материала;
- светотень.

Внешняя объемная форма одежды создается на основе зрительного восприятия ее объемно-пространственных границ, созданных посредством определенного конструктивного решения в целом и ее частей из материалов с заданными свойствами и фактурой. Поверхность одежды не имеет правильной геометрической формы и представляет собой сложную криволинейную поверхность, изменяющуюся и развивающуюся в

пространстве и во времени. Форма одежды не существует вне человека, его образа, пропорций и движений. Поэтому можно говорить о подвижной (динамичной) системе человек – одежда, свойства которой зависят от свойств составляющих ее элементов: человека и одежды.

Процесс познания многомерных объектов окружающего мира осуществляется благодаря зрительному (визуальному) восприятию. Зрительное восприятие представляет собой активное изучение и интерпретацию визуальной информации об объекте, отбор его существенных черт, их анализ и сопоставление со следами памяти для организации целостного визуального образа (Р. Арнхейм) [106].

Оценка одежды, как многомерного объекта, традиционно осуществляется на основе визуального опыта, интуиции и логического мышления экспертов-проектировщиков, т.к. одежда не относится к классу объектов, требующих высокой инженерной точности. По мнению [107] экспертная оценка позволяет частично компенсировать недостаток информации и использовать индивидуальный и коллективный опыт, который аккумулирует в себе долгосрочный процесс накопления в сознании разработчиков эмпирических знаний и научно-технической информации. Согласно исследованию [108] для проведения процедуры оценки одежды необходимо четко определить ее цель и сформулировать проблемный вопрос. Оценка может проводиться как оффлайн, так и онлайн; генерировать решения или представлять оценивающие умозаключения; давать качественную, количественную по относительной или абсолютной шкале или ранжирующую оценку объекта; с получением непосредственного результата или требовать последующего анализа; с различным количеством привлекаемых экспертов.

Экспертная оценка находит широкое применение при сравнении внешней формы цифровых моделей одежды и их аналогов в реальном мире; определении сходства образцов при визуализации результатов проектных

решений; определении различий проявления свойств материалов и одежды в целом.

Вопросами оценки качества одежды занимались такие организации, как ОАО ЦНИИШП, РГУ им. А.Н. Косыгина, РосЗИТЛП, ИГПУ, СПбГУДТ и др., разрабатывали и совершенствовали методики оценки качества одежды различного назначения и на различные типы фигур такие ученые как Т.В. Медведева, Е.Ю. Кривобородова, Е.Б. Коблякова (рассмотрела вопрос управления качеством одежды на стадиях проектирования), П.П. Кокеткин, М.В. Сафронова, Т.Н. Кочегура (разработали рекомендации по улучшению качества одежды в результате применения прогрессивной технологии и современного оборудования), Н.А. Рахманов и С.И. Стаханова (предложили классификацию дефектов одежды и способы их устранения), Л.П. Шершнева (проанализировала и предложила оценку качества каждого этапа проектирования одежды, разработала комплексную систему управления качеством), В.Ю. Медведев (разрабатывал вопросы эстетической оценки дизайна изделий), Ю.В. Кислицина (занималась изучением дефектов одежды и вопросами автоматизации оценки качества изделий), Е.Я. Сурженко (разрабатывал проблему эргономического соответствия одежды), Н.А. Сахарова (занималась оценкой показателей балансового соответствия моделей одежды атектоничных форм с использованием метода семантического дифференциала) и др. [109-119]. Среди зарубежных ученых вопросы оценки качества одежды и устранения дефектов посадки составляли область научных интересов М. Мюллера, Дж. Фэна, В. Ю, Л. Хантера (Британский текстильный институт), Дж. Грунди (Австралийский технологический университет Суинберн) [120-122]. Кроме того, разработан ряд нормативно-правовых актов, регламентирующих вопросы качества изделий швейных бытового назначения: государственные стандарты системы и номенклатуры показателей качества [123], терминов

и определения дефектов швейных изделий [124], методов контроля качества [125] и системы менеджмента качества [126].

Для оценки проектируемых изделий и их реальных трехмерных визуальных образов (3D моделей) [108, 127] учеными Э.П. Райхманом, Г.Г. Азгальдовым, Р.П. Повилейко, Т.В. Рябушкиным, И.Б. Гутчиным, Т.А.Кудриной, С.Д. Бешелевым, Ф.Г. Гурвич, А.И. Орловым применялись экспертные методы для получения от специалистов качественной и количественной информации на основе логических и математико-статистических процедур, анализ и интерпретация которой позволит прийти к рациональному решению [128-133]. Экспертные методы применяют в ситуациях, когда оценка на основе измерительных методов не может быть произведена.

В настоящее время вопрос разработки методологии оценки качества проектных решений одежды в виртуальной трехмерной среде является областью научных интересов ученых И.А. Петросовой и Е.Г. Андреевой (РГУ им. А.Н. Косыгина) и реализуется с помощью системы 3D сканирования на соответствие техническому эскизу и техническому заданию одежды.

Важно отметить, что названные выше разработки в области оценки качества одежды относятся либо к процессу проектирования физической одежды, либо к уже физически существующей одежде.

В контексте сохранения историко-культурного наследия государства в работах [134, 135] ученые использовали комплексный подход к оценке соответствия материальной и виртуальной реконструкции костюмов, применив органолептические и измерительные методы в среде 3D и 2D САПР. Сравнение виртуальной и материальной реконструкций графическим методом заключался в масштабировании 2D изображения материальной и виртуальной реконструкции путем их приведения к одному размеру и совмещения фронтальных проекций (рис. 1.6) для сравнения

границ (геометрического вида) формы в целом и ее частей. Вторая оценка внешнего вида реконструкций производилась с использованием экспертного нейропсихического метода по технологии eye-tracking с помощью комплекта Tobii Pro Glasses 2 Live View 50.



Рисунок 1.6 – Оценка материальной и виртуальной реконструкции исторического костюма с использованием экспертного нейропсихического метода по технологии eye-tracking на приборе Tobii [135]

Используемый набор техники и программного обеспечения позволяет в режиме реального времени обозначить зоны внимания экспертов и определить различия между сравниваемыми объектами. Показателем оценки была тепловая карта, представляющая собой набор цветовых пятен зеленого, желтого и красного цвета на поверхности изображения, на которые эксперт смотрел: зеленый цветом определяет наименее просматриваемые зоны, красный – зоны повышенного интереса. Оба метода показали высокие результаты валидации материальной и виртуальной реконструкции, что подтверждает возможность виртуальной визуализации исторических костюмов.

Научной школой РГУ им. А.Н. Косыгина разработаны методологии оценки качества проектных решений одежды в виртуальной трехмерной среде [136-138] и методики количественного сравнения виртуальной модели одежды с реальным образцом [47] посредством измерения величин углов наклона линий виртуальной модели с реальным образцом одежды на фотоизображении.

В работах [44, 45] авторы приводят результаты оценки реалистичности виртуальных моделей женских пальто стиля оверсайз с аналогичными реальными моделями (рис. 1.7). В качестве оцениваемых показателей реалистичности виртуальных и реальных моделей использованы традиционные показатели качества посадки (горизонтальность линии низа, отвесное положение краев бортов и боковых швов, верхнего шва рукава, наличие (отсутствие) свободных (напряженных) складок), а также величины воздушных зазоров в горизонтальных и вертикальных сечениях.

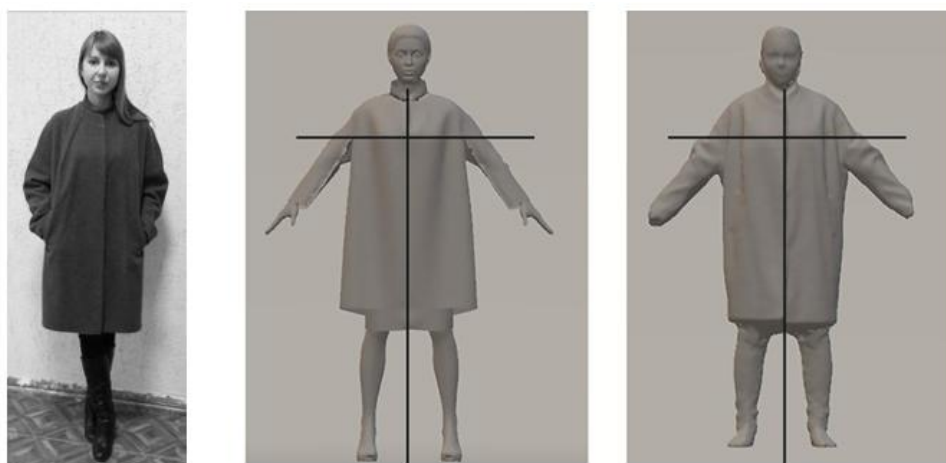


Рисунок 1.7 – Фотографическое изображение реальной модели, виртуальной и оцифрованной моделей пальто [45]

Южнокорейские ученые [139] проводили исследование по оценке фотоизображений внешнего вида материального образца и 3D модели женского жакета полуприлегающего силуэта методом анкетирования с целью выработки предложений способов улучшения системы цифрового проектирования одежды. Результаты исследования показали, что в оценке внешнего вида реального и цифрового изображения женского жакета оценки экспертных групп дизайнеров и конструкторов по многим показателям совпали и были высоко оценены, однако при оценке качества посадки были выявлены различия.

Вопросом сравнения внешнего сходства реальных и цифровых брюк средствами программы Clo3D занимались ученые Пусанского университета

(Южная Корея) [140]. В качестве реального субъекта исследования была выбрана женщина среднего роста в возрасте около двадцати лет и был создан ее аватар с такими же характеристиками. Силуэты брюк были разделены на полуприлегающие брюки, слаксы и широкие брюки, а фотоизображения реальных и цифровых брюк оценивались группой экспертов по разработанным единичным показателям, позволяющим произвести множественную оценку сходства по силуэту брюк (спереди, сбоку и сзади). Результаты показали достаточно высокие значения сходства между реальной и цифровой одеждой, когда форма брюк напоминала силуэт человеческого тела (полуприлегающий). Однако если брюки были узкими или свободными, цифровые визуализации брюк не отображали заломы, вызванные теснотой или чрезмерной слабиной (рис. 1.8).

Также вопрос определения сходства и различий внешнего вида реальных и цифровых брюк составлял область научных интересов южнокорейских ученых для доказательства надежности и эффективности применения 3D моделирования при проектировании женской одежды. Для исследования были отобраны 5 женщин плюс-сайз размера (5 размер одежды, корейская размерная сетка) в возрасте от 20 до 30 лет, не имеющих существенных различий в размерных признаках, а их типы телосложения имели сходные средние значения.

Для проектирования были выбраны брюки прямого силуэта, выполненные из 100% хлопка и из смеси хлопка-спандекса. При сравнении внешнего вида реальной и цифровой одежды выявлено, что использование различных материалов не оказало существенного влияния на оценку внешнего вида изделия и при сравнении не было выявлено существенных различий. Авторы исследования приводят также заключение о схожих высоких оценках качества посадки цифровой и реальной одежды, однако не раскрывают примененных методов ее оценки.



Рисунок 1.8 – Сравнительный анализ реальных и цифровых брюк спереди, сбоку и сзади [140]

Еще одним коллективом авторов Пусанского университета (Южная Корея) [141] проводилось исследование по сравнению внешнего сходства между реальной и цифровой моделями женского жакета с его 2D фото-референсом в результате реализации технологии традиционного проектирования и цифрового 3D проектирования в программе Clo3D. В качестве эталонных 2D фото-референсов были выбраны жакеты Н и Х силуэтов с увеличенными плечами. Сравнительный анализ показал (рис. 1.9), что жакет Н-силуэта с увеличенной длиной плеч и меньшим количеством деталей имел большее сходство между эталонным 2D фото-референсом и реальной одеждой, реальной и цифровой одеждой и эталонным 2D фото-референсом и цифровой одеждой, чем жакет Х-силуэта, который имел прилегающую посадку и множественные детали. Жакет Х-силуэта показал более низкое сходство в области талии и воротника.



Рисунок 1.9 – Сравнительный анализ 2D фото-референсов, реальных и цифровых жакетов Н- и Х-силуэтов [141]

Также авторами отмечено, что особенно в прилегающих жакетах с увеличенной линией плеч не представляется возможным воспроизвести узел «плечо-пройма-рукав» в цифровом виде точно, что, в свою очередь, оказалось ограничением в повышении сходства цифрового жакета Х-силуэта с его 2D фото-референсом. Кроме того, разница в реализации технологии «сшивания» между реальной и цифровой одеждой определяет различия их внешнего вида.

Во многих рассмотренных выше работах значения результатов интерпретировались с помощью множественного тестирования Дэвида Б. Дункана (1955 г.).

Проведенные учеными исследования по оценке внешнего вида реальной и цифровой одежды на основе метода экспертных оценок зрительного восприятия фотоизображений показали высокие значения сходства, причем чем больше внешняя форма оцениваемого изделия напоминала человеческое тело, тем более высокие оценочные значения получала его цифровая 3D модель. При этом в рассмотренных выше работах наблюдалось расхождение в оценке качества посадки реальной и цифровой одежды при сравнении их фотоизображений. Данное расхождение свидетельствует о том, что для получения объективной

оценки качества посадки при цифровом проектировании одежды экспертной оценки недостаточно и требуется применение дополнительных методов сравнения для получения количественной оценки подобия проектируемых изделий.

Количественная оценка зрительного подобия внешней объемной формы проектируемых цифровых изделий с 3D сканами реальных изделий может осуществляться на основе критериев: а) точная посадка; б) эстетичный внешний вид; в) реалистичность ткани (в т.ч. расположения и глубины складок, формы и объема фалд, общей геометрии драпировки, поведения ткани в контрольных точках) [142]. Сравнение данных параметров внешней формы цифрового и реального (в виде 3D скана) объектов производится с помощью методов сравнительного анализа:

А) геометрический анализ:

- наложение меша (сетки) 3D моделей (цифровой и реальной) друг на друга для выявления отклонений;
- измерение расстояний между соответствующими точками на обеих 3D моделях;
- анализ кривизны поверхности в местах складок.

Б) параметрический анализ:

- сравнение углов падения складок;
- измерение амплитуды и частоты волн драпировки;
- оценка объема и распределения материала в фалдах.

Специализированное программное обеспечение для 3D проектирования цифровой одежды имеет встроенный инструментарий оценки ее внешней формы, базирующийся на методах сравнительного анализа. Например, широко распространенное программное обеспечение Clo3D в своем функционале имеет карты натяжения (Tension map), деформации (Strain map), давления (Pressure map) и инструменты измерения складок и драпировки (Linear Garment Measure и Circumference Garment

Measure). Программное обеспечение Optitex 3D имеет инструменты для сравнения виртуальных и реальных изделий, Vidya (Assyst) предлагает инструменты валидации виртуальных образцов, а Modaris 3D (Lectra) включает функции анализа посадки и драпировки.

Как показывает проведенный анализ, существующие на сегодняшний день исследования процесса проведения сравнительной оценки визуальной идентичности внешней формы одежды, созданной в цифровой среде, с ее реальным образцом преимущественно опираются на метод экспертных оценок и недостаточно широко используют количественные методы оценки, что создает определенные трудности при анализе конечного результата проектных работ.

1.3.5. Математические модели плоских разверток деталей и поверхности формы цифровой одежды

Как было показано ранее, создание и/или преобразование пространственной формы цифровой одежды наиболее часто осуществляется способом «от 2D разверток деталей к 3D форме» в связи с чем особый интерес представляет исследование математического аппарата, используемого для создания плоских разверток деталей конструкций и объемных форм цифровой одежды.

Процесс создания новых моделей одежды в цифровой среде представляет собой, по своей сути, запись некоего алгоритма математических вычислений для описания элементов цифрового представления формы, что позволяет рассматривать его одним из видов математического моделирования.

Математическое моделирование – это представление какого-либо объекта посредством описания его формы с помощью математических выражений, заданных в виде совокупности переменных и выражаемых

математическими соотношениями. Математическое моделирование позволяет получать новые модели на основе исходной математической модели посредством задания новых крайних или промежуточных значений переменных [59].

Форма одежды представляет собой сложную объемно-пространственную структуру. Для построения ее математической модели процесс моделирования реализуется по принципу от простого к сложному. Процесс проектирования деталей одежды также базируется на реализации данного принципа: на первом этапе осуществляется разработка базовой основы конструкции, второй этап составляет создание модельной конструкции за счет применения приемов конструктивного моделирования к базовой основе конструкции и включения дополнительных элементов, на третьем этапе модельная конструкция дополняется декоративными элементами. Для реализации процесса проектирования деталей одежды чаще всего применяют расчетно-графический метод, позволяющий проектировать плоские развёртки деталей путем задания их контуров прямыми и кривыми второго порядка.

Построение контуров конструкции графическим методом задания контуров кривыми второго порядка положено в основу многих методик конструирования, традиционно применяемых при ручном проектировании. Со временем расчеты и графические построения подвергаются уточнению, претерпевают изменения под воздействием субъективного опыта проектировщика или заменяются новыми, что не обеспечивает возможности создания, накопления и обновления базы данных множества вариантов конструктивных решений задания контуров конструкции. Эту задачу решает автоматизация процесса проектирования контуров конструкции, обеспечивая связь графического построения с математическим обоснованием, и при необходимости аппроксимируя сложные контуры простыми математическими объектами. Она позволяет

обеспечить создание, хранение и обновление базы данных множества различных блоков с конструктивными решениями контуров деталей или отдельных участков контуров. Кроме того, как отмечается в работе [57] Гусевой М.А., чтобы получить различные формы контуров деталей при проектировании новых моделей одежды, необходимо задать новые значения параметров расчета конструктивных точек базовых или модельных конструкций.

Рассмотрим некоторые математические модели, положенные в основу аналитических методов задания контуров в системах автоматизированного проектирования.

Теория сплайн-функций обладает очень удобным для обработки автоматизированными системами математическим аппаратом, поскольку сплайны обладают лучшими аппроксимативными свойствами. Согласно теории сплайн-функций поверхность объекта может быть описана параметрическими сплайнами, которые представляют собой набор из троек сплайн-функций. При описании кривой набор троек сплайн-функций задается одним параметром, а для описания поверхности – двумя параметрами. В результате кривая будет состоять из N однородных сегментов кривых, а поверхность – из NM подобных сегментов кривых. Сплайн-функции широко применяются в компьютерном моделировании, т.к. отличаются однородностью вычислений, что существенно влияет на оптимизацию вычислительных процедур алгоритма программ. Применение сплайн-функций при проектировании деталей одежды рассмотрено в работе [57] и показывает, что совокупность сплайн-функций определяет взаимосвязь объемно-пространственной внешней формы одежды с ее плоскими развертками деталей. Так, используемый проектировщиком, любой набор данных плоской развертки детали представляется в виде трехмерного массива с параметрами (a, b, c) . Изменяя значения параметров массива плоской развертки детали, проектировщик получает новые

параметры данного участка пространственной формы модели одежды (рис. 1.10).

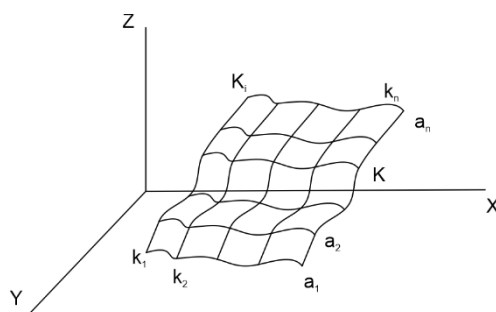


Рисунок 1.10 – Координатная сетка сплайн-функций варьирования параметров конструкции [57]

Применение способа аффинного преобразования положено в основу алгоритма программы AFINL, разработанного Рогожиным А.Ю. [143, 144] и на примере сечений, снятых с макета женского платья, позволяющего изменить их габариты, сохраняя исходную форму составляющих кривых. Суть метода аффинного преобразования заключается в том, что любое изменение масштаба кривой осуществляется одновременно по одной или двум осям. Изменение обладает следующими свойствами: а) прямые переходят в прямые; б) параллельные прямые преобразуются в параллельные прямые; в) подобие отрезков одной прямой не изменяется; г) подобие отрезков, лежащих на параллельных прямых, не преобразуется; д) степень кривой не изменяется.

В работе [56] Раздомахин Н.Н. для аналитического описания контуров трехмерной формы одежды подробно рассмотрел применение математических примитивов таких как усовершенствованный проф. А.Г. Басуевым способ кривых второго порядка, определяемых 4 точками (рис. 1.11); кривые Безье третьего порядка (рис. 1.12); длина общей полуоси при заданной сумме длин эллипсов (рис. 1.13); задание точки на плоской кривой второго порядка (рис. 1.14); поиск точки на кривой в пространстве при двух неизвестных координатах (рис. 1.15).

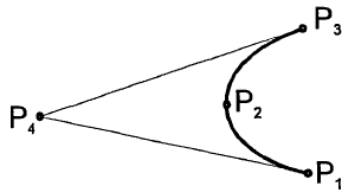


Рисунок 1.11 – Кривая 2-го порядка [56]

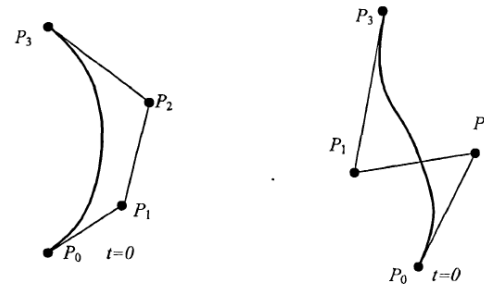


Рисунок 1.12 – Кривые Безье [56]

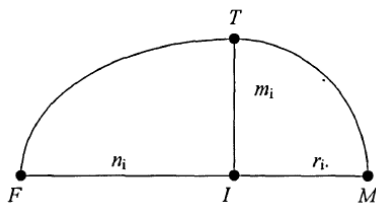


Рисунок 1.13 – Периметр низа рукава [56]

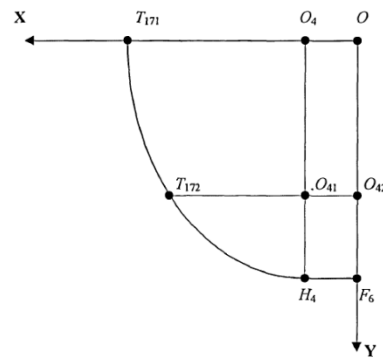


Рисунок 1.14 – Горизонтальное сечение талии [56]

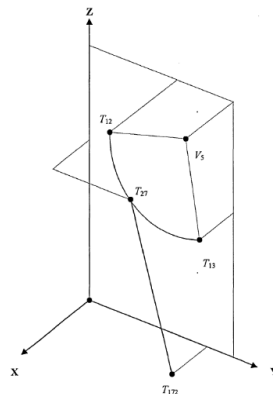


Рисунок 1.15 – Пересечение плоскости и кривой [56]

Предложенный Гетманцевой В.В. в работе [59] подход к получению математического описания внешней формы одежды основывается на математическом моделировании вертикальных сегментов элементов формообразования рельефа поверхности одежды с учетом величин проекционных зазоров (рис. 1.16).

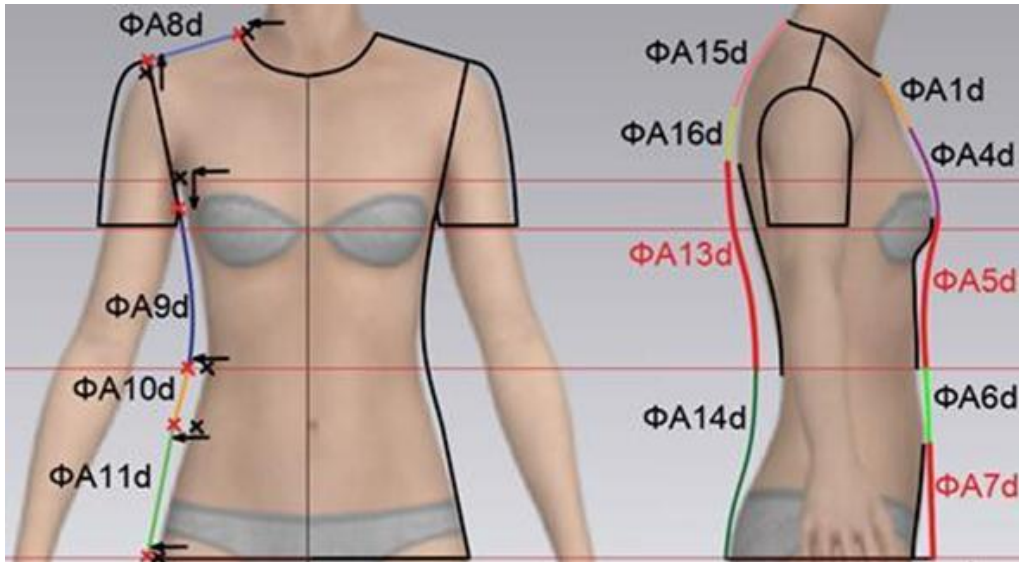


Рисунок 1.16 – Геометрия фрагментов вертикальных рельефных линий изделия [59]

Достоверность работы предложенной математической модели изделия была апробирована на примере построения пространственной формы женского плечевого изделия прилегающего и полуприлегающего силуэтов. Для этого поверхность плечевого изделия была разбита на участки и сегменты, соответствующие проведенной развертке поверхности фигуры.

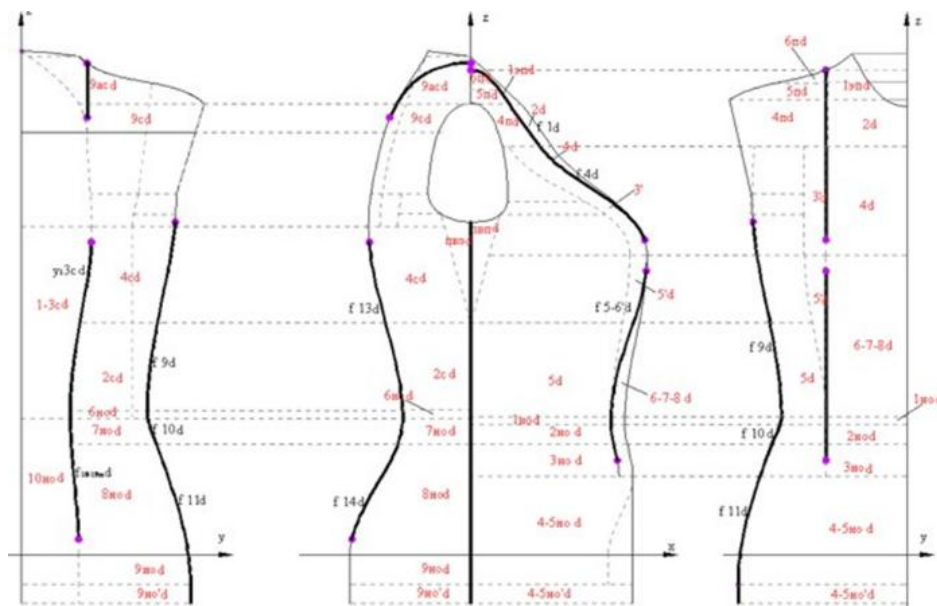


Рисунок 1.17 – Элементы формообразования поверхности плечевого изделия [59]

Контуры внешней формы плечевого изделия описаны тем же математическим способом, что и контуры фигуры, т.к. их пространственное расположение соответствует расположению элементов формообразования поверхности женского плечевого изделия (рис. 1.17). Для их описания использовались такие математические примитивы как эллипс, кривая Безье, кривая третьего порядка, косинусоида и прямая.

Таким образом, математические модели плоских разверток деталей конструкций и внешних форм одежды могут быть представлены в виде множества прямых и/или кривых сегментов, замкнутых в единый контур, заданы графоаналитическим способом, воспроизведены в объемно-пространственном виде, а изменение значений параметров расчета конструктивных точек модели может привести к созданию разных новых форм контуров деталей для получения новых моделей одежды.

1.4. Исследование технологий создания цифровой одежды

Технология создания цифровой одежды подразумевает под собой создание объемно-пространственной структуры одежды в цифровой среде, выраженной в 2D и 3D формах представления. Объемно-пространственная структура характеризуется, прежде всего, взаимодействием элементов ее формы между собой и с пространством. В связи с этим в данном параграфе представлены технологии создания цифровых 2D и 3D моделей одежды, отражающие процесс создания их формы.

1.4.1. Технологии создания цифровых 2D моделей одежды и их анализ

Рассмотрим технологию создания цифровых 2D моделей одежды, под которыми понимаются эскизные формы, цифровые фото физически

существующих изделий и скан-копии и/или цифровые изображения распечатанных фото.

Верхнеуровневая схема технологического процесса создания цифровых 2D моделей одежды [145] представлена на рисунке 1.18 и состоит из следующих этапов:

- 1) постановка цели и задач;
- 2) формализация проектного образа формы 2D модели;
- 3) выбор цифровой техники и программного обеспечения;
- 4) работа над созданием цифровой формы 2D модели с помощью цифровой техники и инструментов программного обеспечения;
- 5) получение и анализ результата создания цифровой 2D формы представления одежды;
- 6) определение направления корректировки полученного результата.

Детальное представление цифрового содержания этапов технологии создания форм цифровых 2D моделей одежды отражено в таблице 1.3.

Первым этапом технологии является постановка цели и задач проектирования. Целями создания цифровых 2D моделей одежды может выступать разработка различных видов эскизных форм для визуализации проектного образа, фиксация результата проектирования или преобразование одного формата представления в другой. Под проектным образом в настоящем исследовании понимается художественная модель, отражающая реальный мир, целостная, осмысленная и завершенная в своем строении художественная форма, имеющая предметно-выраженный смысл. Формализация проектного образа составляет второй этап технологии и заключается в его представлении вербально/невербально в аналоговом или цифровом виде посредством технического задания или результата творческого процесса, в соответствии с поставленной целью и задачами.

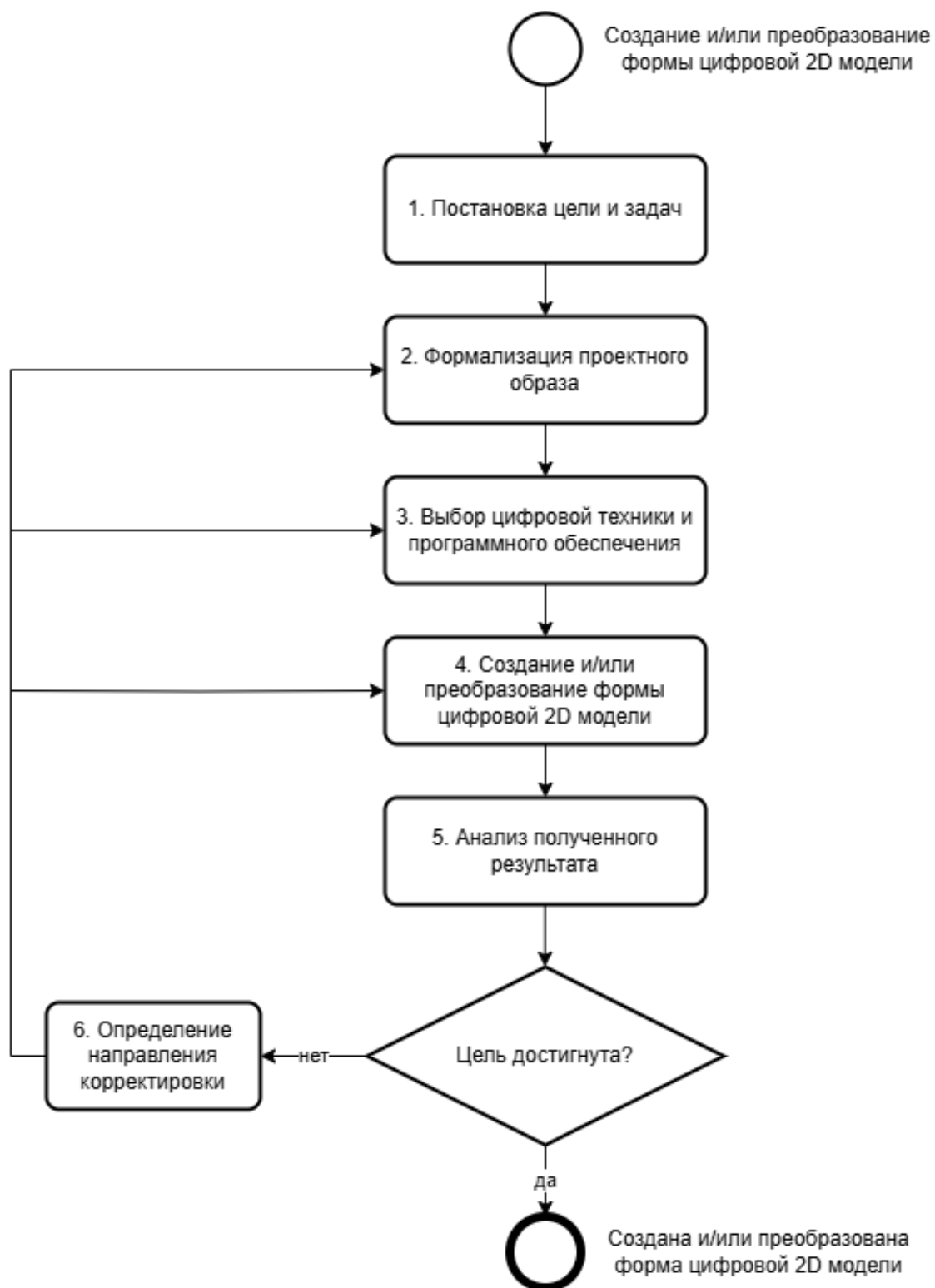


Рисунок 1.18 – Технология создания формы цифровых 2D моделей одежды

Таблица 1.3 – Цифровое содержание этапов технологии создания формы цифровых 2D моделей одежды

Исходные данные	Цифровизация формализованного проектного образа	Набор цифровой техники и программного обеспечения			Результат
		Оборудование	ПО для работы создания и/или преобразования цифрового изображения	ПО для передачи данных	
1	2	3	4	5	6
Проектный образ, выраженный вербально/невербально аналоговыми или цифровыми элементами одежды и/или их сочетаниями на основе технического задания или как результат творческого процесса формализуется в виде одной из форм представления цифровых 2D моделей одежды	Создание преобразование цифрового эскиза	и 1. Персональный компьютер / ноутбук / графический планшет	1. Графический редактор (Adobe Illustrator, Corel Draw, Adobe PhotoShop, Xara Designer, Auto Cad, T- flex и др.)		Фор-эскиз Творческий эскиз Рекламно- графический эскиз Технический рисунок Отретушированные фото или скан- копия
	Оцифровка «ручного» эскиза для преобразования	1. Персональный компьютер / ноутбук / графический планшет 2. Цифровой фотоаппарат / цифровой телефон с камерой /планшет с камерой / сканер 3. USB-флеш- накопитель / внешний жесткий диск / карта памяти	1. Графический редактор (Adobe Illustrator, Corel Draw, Adobe PhotoShop, Xara Designer, Auto Cad, T- flex и др.)	Web- браузер / мессенджер / сеть Интернет / bluetooth	

Продолжение таблицы 1.3

1	2	3	4	5	6
	Создание цифрового фото	1. Цифровой фотоаппарат / цифровой телефон с камерой / планшет с камерой			
	Создание и преобразование цифрового фото	1. Цифровой фотоаппарат / цифровой телефон с камерой / планшет с камерой / сканер 2. Персональный компьютер / ноутбук / графический планшет 3. USB-флеш-накопитель / внешний жесткий диск / карта памяти	1. Графический редактор (Adobe Illustrator, Corel Draw, Adobe PhotoShop, Xara Designer, Auto Cad, T-flex и др.)	Web-браузер / мессенджер / сеть Интернет / bluetooth	
	Оцифровка распечатанного фото	1. Персональный компьютер / ноутбук 2. Сканер / multifunctional устройство	1. Драйвер распознавания информации о форме и цвете (ABBYY FineReader и др.) 2. Графический редактор (AI, CorelDraw, PhS и др.)		

Цель и задачи создания цифровых 2D моделей одежды влияют на содержание третьего этапа технологии – выбор цифровой техники и программного обеспечения. Выбор программного обеспечения обуславливается, во-первых, оптимальным набором его инструментов, позволяющих решить поставленные задачи, а во-вторых, уровнем владения ими специалистом [146, 147].

На четвертом этапе технологии при создании формы цифровой 2D модели одежды необходимо учитывать планируемый вид результата и программное обеспечение для его получения. В рамках данной работы проведено исследование различных графических редакторов с различным набором объектов и инструментов для создания различных форм цифровых 2D моделей одежды (таблица 1.4). В выбранном графическом редакторе любая форма цифровой 2D модели одежды создается с помощью объектов, имеющихся в редакторе и являющихся элементами, из которых создается форма. К каждому объекту необходимо в процессе создания формы применить инструмент, чтобы добиться заданной формы. Поэтому под инструментом понимается действие, команда, которое после применения изменяет объект.

Из таблицы 1.4 можно сделать вывод, что для цифровых форм двухмерных моделей одежды, изначально создаваемых в цифровом формате, применяются редакторы векторной графики, а для 2D моделей, имеющих начальную форму представления физическую, применяются редакторы растровой графики для их преобразования в цифровой формат.

На пятом этапе полученный цифровой результат анализируется на соответствие поставленным цели, задачам и формализованному проектному образу.

Таблица 1.4 – Программное обеспечение для создания форм цифровых 2D моделей одежды

Форма представления 2D модели одежды		Наименование программного обеспечения для создания цифровых 2D моделей одежды	Объектно-инструментальное содержание программного обеспечения создания цифровых 2D моделей одежды
Эскиз	Фор-эскиз	Procreate	Кисти, фигуры, цвет, заливка, маски, слои
	Творческий эскиз	Adobe Illustrator	Линии, фигуры, контуры, инструменты живописи, объекты, слои, текст
	Рекламно-графический эскиз		
	Технический рисунок	Corel Draw	Линии, фигуры, контуры, объекты, цвет, заливка, обводки, слои
Фото	Отретушированное фото	Adobe PhotoShop	Выделение, слои, коррекция, рисование и живопись, фильтры и эффекты
Скан-копия	Отретушированная скан-копия		

При выявлении несоответствия результата определяется направление корректировки, т.е. реализуется шестой этап технологии. Согласно определенному направлению корректировки процесс проектирования реализуется повторно с этапа, на котором были выявлены несоответствия. Тем самым процесс повторяется до тех пор, пока требуемый цифровой результат не будет достигнут.

1.4.2. Технологии создания цифровых 3D моделей одежды и их анализ

Технологии создания цифровых 3D моделей одежды, формы представления которых приведены в параграфе 1.2., рассмотрены применительно к преобразованию физической одежды в цифровой объект, созданию цифровой одежды, существующей только в цифровом пространстве, или созданной в цифровом пространстве для дальнейшего физического воспроизведения.

В работах [56-59, 87, 98] представлены схемы реализации трехмерного параметрического проектирования внешней формы одежды способом «от 3D формы к 2D развертке деталей» и схемы преобразования плоскостных параметров в пространственные, т.е. способом «от 2D развертки деталей к 3D форме». Применение данных способов проектирования рассмотрено применительно к цифровой одежде, которая в последующем воспроизводится физически. Однако приведенные схемы не раскрывают единой технологии создания для различных цифровых 3D форм моделей одежды в зависимости от исходных форм их представления.

Исследование процесса получения различных форм 3D моделей одежды позволило установить, что несмотря на различные исходные данные, используемое оборудование, применяемые методы и приемы работы, можно выделить схожие сущности (этапы). На основе результатов исследования разработана и формализована единая технология создания и/или преобразования цифровой формы 3D моделей одежды (рис. 1.19).

Процесс создания и/или преобразования цифровой формы 3D модели одежды начинается с постановки цели и определения задач ее проектирования (первый этап). Целями проектирования могут выступать: создание цифровой одежды для виртуального показа, персонажа компьютерной игры и т.д., проектирование моделей для промышленного производства, разработка изделий для индивидуального потребления и т.п.

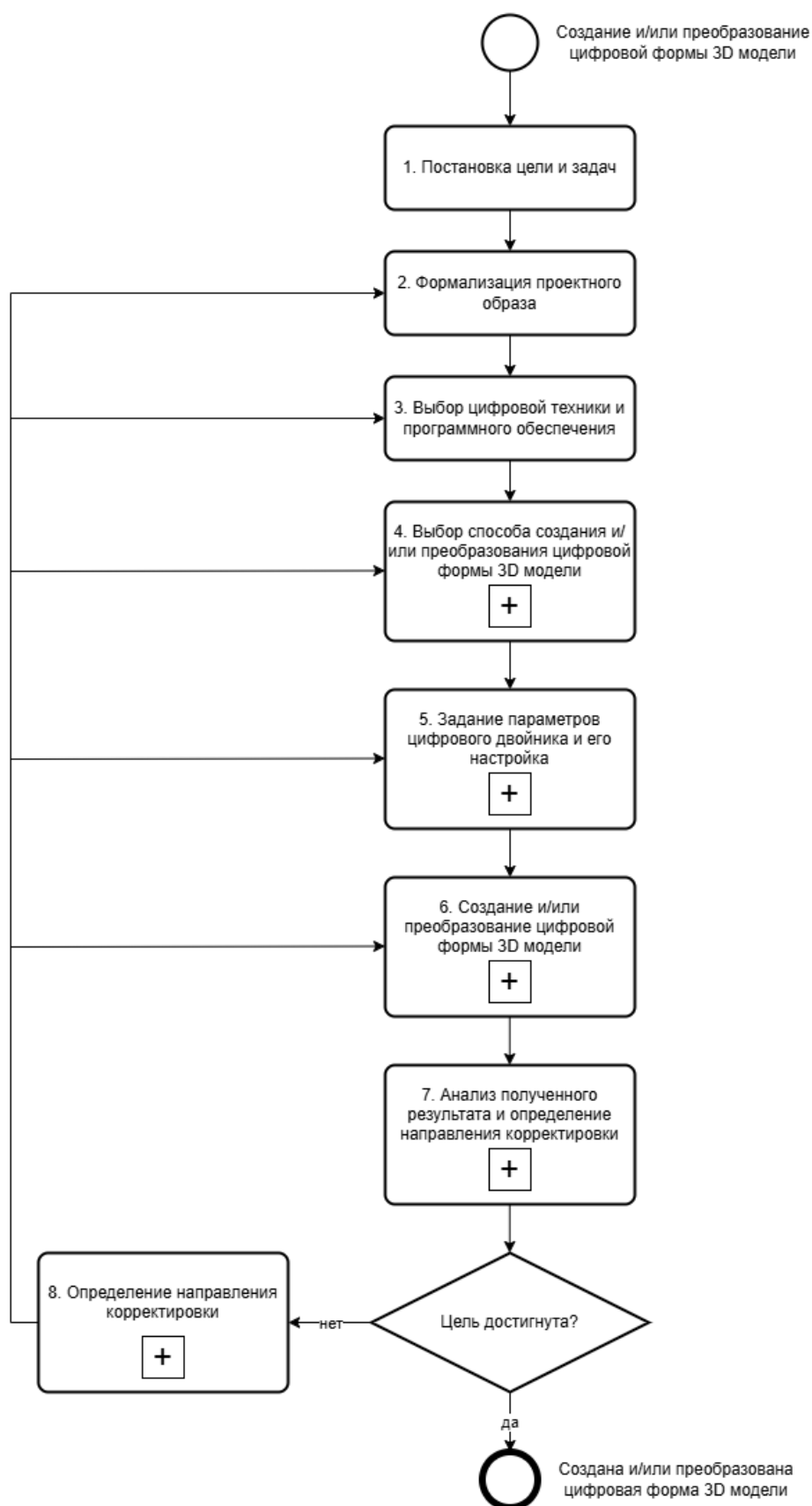


Рисунок 1.19 – Технология создания и/или преобразования цифровой формы 3D моделей одежды

В соответствии с поставленными целью и задачами осуществляется разработка проектного образа, представленного вербально/невербально в аналоговом или цифровом виде посредством технического задания или результата творческого процесса, в соответствии с поставленной целью и задачами (второй этап). Проектный образ, установленная цель и задачи проектирования являются исходными данными для выбора цифровой техники и программного обеспечения (третий этап). Каждой из форм представления 3D моделей одежды соответствует свой набор цифровой техники и программного обеспечения.

Создание цифровых 3D моделей одежды посредством технологий трехмерного сканирования осуществляется с применением 3D сканера для получения информации о форме и цвете сканируемого объекта в цифровом виде и программного обеспечения для ее распознавания. Для преобразования созданной при сканировании цифровой 3D модели программное обеспечение может быть дополнено программами трехмерного моделирования, а также САПР.

Для создания 3D модели одежды с помощью цифровой видеокамеры первоисточником также является физическая одежда. Поэтому набор цифровой техники включает цифровую видеокамеру/цифровой телефон с камерой/планшет с камерой и компьютер/ноутбук для последующей работы с полученной цифровой моделью. Для передачи цифровой модели с камеры на компьютер/ноутбук набор следует дополнить внешними накопителями (USB-флеш-накопитель или внешний жесткий диск или карта памяти), или установить программные приложения для обмена данными (web-браузер/мессенджер), или подключить средства передачи данных в виде доступа к сети Интернет или bluetooth. После передачи файла с цифровой моделью на цифровую технику начинается процесс ее преобразования. Для этого цифровая техника должна быть оснащена

программным обеспечением специального и/или общего назначения для работы с 3D объектами.

В отличие от цифровых 3D моделей одежды, созданных с применением технологий трехмерного сканирования или цифровой видеокамеры, 3D модели в объеме изначально имеют цифровую природу, т.к. создаются в 3D редакторах средствами трёхмерной компьютерной графики (CGI-графика) или алгоритмами искусственного интеллекта. Созданные таким образом 3D модели одежды можно классифицировать на существующие только в цифровом пространстве и созданные в цифровом пространстве для дальнейшего физического воспроизведения. В обоих случаях набор цифровой техники будет содержать компьютер/ноутбук и программное обеспечение для создания и/или преобразования 3D и 2D компьютерной графики и/или дополнено САПР при необходимости.

В результате объектно-инструментального анализа программного обеспечения для создания трёхмерной компьютерной графики выделены программы для различных видов работ, выполняемых при создании и/или преобразовании 3D моделей (рис. 1.20).

Вид работ	Наименование программного обеспечения											
Моделирование	Assyst	Clo3D	Gerber	Lectra	3ds Max	Optitex	Browzwear	Modo	Blender	MagiScan 3d	Kaedim3d	
Скульптинг	ZBrush	Blender	3D-Coat	Mudbox	MagiScan 3d	Kaedim3d						
Риггинг (костная система)	Assyst	Clo3D	Gerber	Lectra	3ds Max	Optitex	Browzwear	Maya				
3D-анимация	Clo3D	3ds Max	Optitex	Browzwear	Maya	Houdini	MagiScan 3d	Kaedim3d				
Моушн-графика	Assyst	Clo3D	3ds Max	Optitex	Browzwear	Cinema 4D	Maya	Houdini	After Effects	MagiScan 3d	Kaedim3d	
Композитинг	Clo3D	Optitex	Browzwear	Nuke	Avid MC	Fusion	MagiScan 3d	Kaedim3d				

Рисунок 1.20 – Программное обеспечение для создания и/или преобразования цифровых форм 3D моделей по видам работ

На четвертом этапе осуществляется выбор способа создания и/или преобразования 3D моделей одежды (способы перечислены в параграфе 1.3.1.) (рис. 1.21). Важно отметить, что выбранные способы создания и/или преобразования 3D моделей определяют инструментальную базу и содержание работ последующих этапов технологии. Названные способы могут дополняться за счет развития цифровых технологий, однако сущностно не изменяют верхнеуровневую структуру представленной технологии.

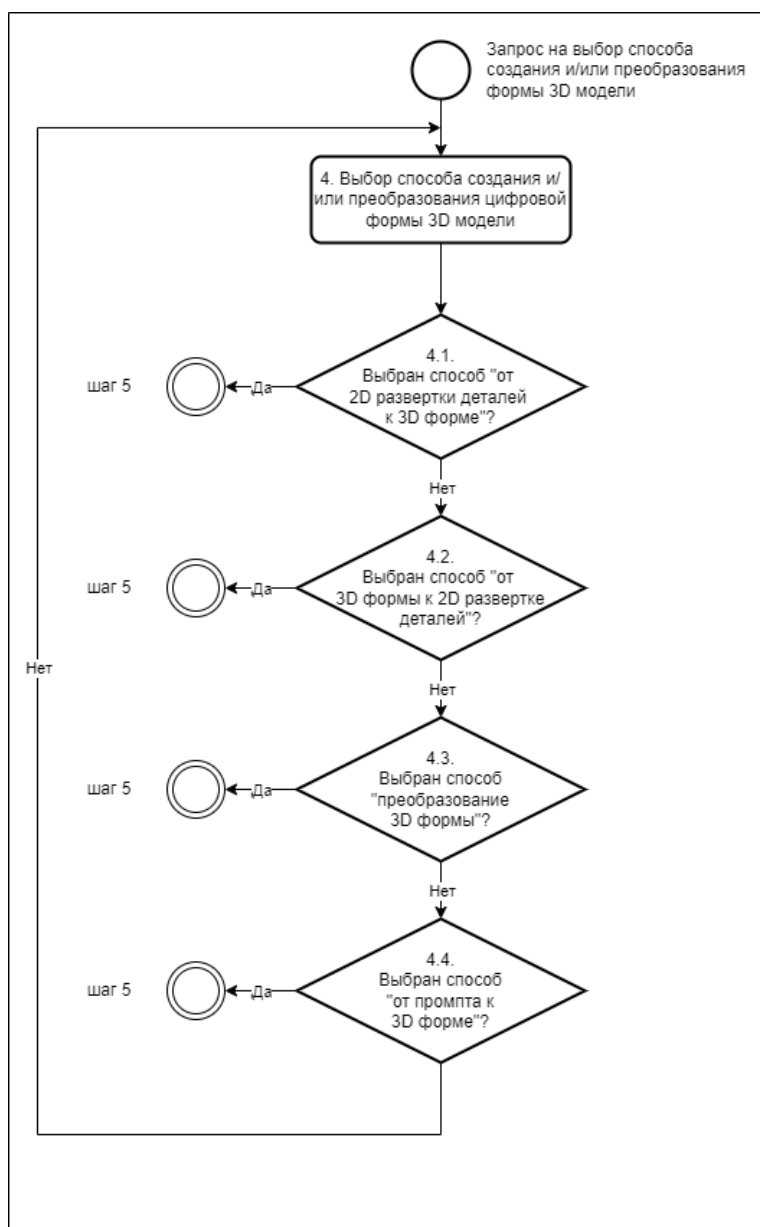


Рисунок 1.21 – Схема четвертого этапа технологии создания и/или преобразования цифровой формы 3D моделей одежды

Выбор способа осуществляется, исходя из имеющихся у специалиста исходных данных, полученных на 1-3 этапах технологии, и завершается переходом на 5 этап технологии «Задание параметров цифрового двойника и его настройка».

Важно отметить, что возможно применение гибридного способа создания и/или преобразования формы 3D моделей одежды для получения иной формы ее представления. К гибриднему способу можно отнести последовательное применение двух и/или более способов, например, «преобразование 3D формы» + «от 2D развертки деталей к 3D форме» для получения цифровой формы одежды исходя из физической формы. Причем в данном случае применение дополнительного способа является инструментом для использования основного, позволяющего получить конечный результат. Возможные варианты числа сочетаний целесообразного с точки зрения временных и трудовых затрат применения гибридного способа представлены на рисунке 1.22, где Ф – физическая одежда; Ц – цифровая одежда; ЦФ – цифровая одежда, воплощенная в физической одежде; 1 – способ «от 2D развертки деталей к 3D форме»; 2 – способ «от 3D формы к 2D развертке деталей»; 3 – способ «преобразование 3D формы»; 4 – способ «от промпта к 3D форме».

$$\begin{aligned} \Phi &\rightarrow \text{Ц} = 3 + 4 \text{ или } 4 + 3 \\ \Phi &\rightarrow \text{Ц}\Phi = 3 + 1 \text{ или } 4 + 1 \\ \text{Ц} &\rightarrow \text{Ц}\Phi = 4 + 1 \\ \text{Ц}\Phi &\rightarrow \text{Ц} = 1 + 4 \text{ или } 2 + 4 \end{aligned}$$

Рисунок 1.22 – Варианты числа сочетаний применения гибридного способа

Выбранный на четвертом этапе технологии способ создания и/или преобразования цифровой формы 3D модели определяет необходимость использования цифрового двойника [37] (используется или не используется) и его вид (с точными параметрами формы фигуры или с

приближенными), а также задание его параметров и настройку, что составляет сущность пятого этапа технологии (рис. 1.23) [148].

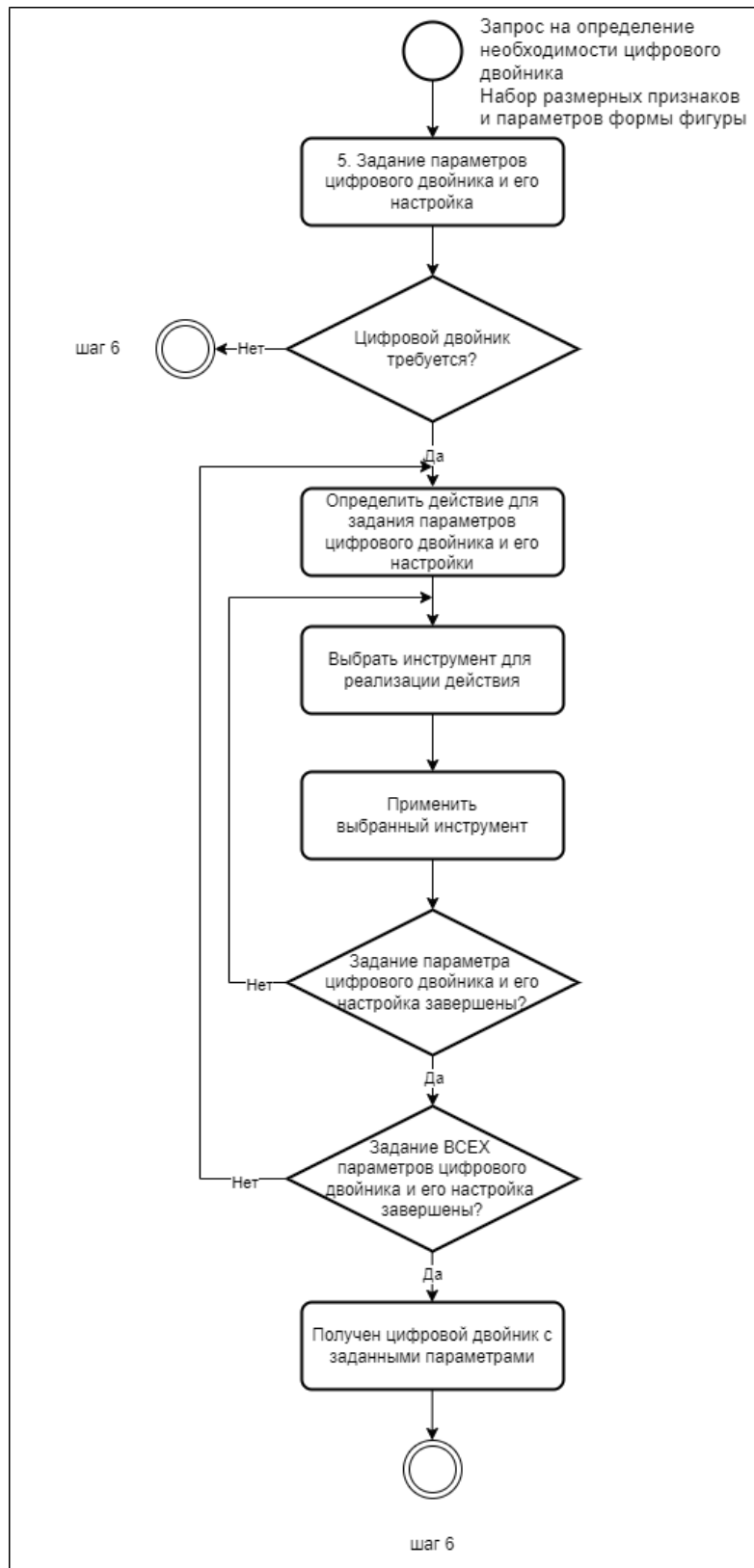


Рисунок 1.23 – Схема пятого этапа технологии создания и/или преобразования цифровой формы 3D моделей одежды

Заметим, что если для 1 и 2 способов использование аватара является необходимым условием для создания цифровой формы 3D модели, то в 4 способе он может применяться для визуального представления созданной формы.

После того, как выбран способ создания и/или преобразования цифровой формы 3D модели, определена необходимость использования цифрового двойника или ее отсутствие, заданы точные или приближенные параметры цифрового двойника и произведена его настройка, начинается работа над созданием и/или преобразованием цифровой формы 3D модели с помощью цифровой техники и инструментов программного обеспечения – 6 этап технологии «Создание и/или преобразование цифровой формы 3D моделей одежды» (рис. 1.24).

Работа по созданию и/или преобразованию цифровой формы 3D модели одежды осуществляется с помощью инструментов, имеющихся в 3D редакторе. Для получения заданной цифровой формы 3D модели к каждому объекту в процессе создания/преобразования формы необходимо последовательно применять соответствующий инструмент, т.е. выполнить действие, в результате которого начальная форма изменится. Применение инструмента к выбранному объекту происходит до тех пор, пока заданная форма не будет достигнута. В результате чего создаются элементы цифрового представления формы, а именно плоские развертки деталей и симуляция объемно-пространственной внешней формы модели посредством назначения швов на конструктивные участки плоских разверток деталей, выбора в библиотеке программы или импорта в нее сторонних цифровых образцов тканей и их назначение деталям плоских разверток модели, проведения цифровой примерки на цифровом двойнике (субъекте проектирования) и создания реалистичной визуализации 3D модели (рендеринг).

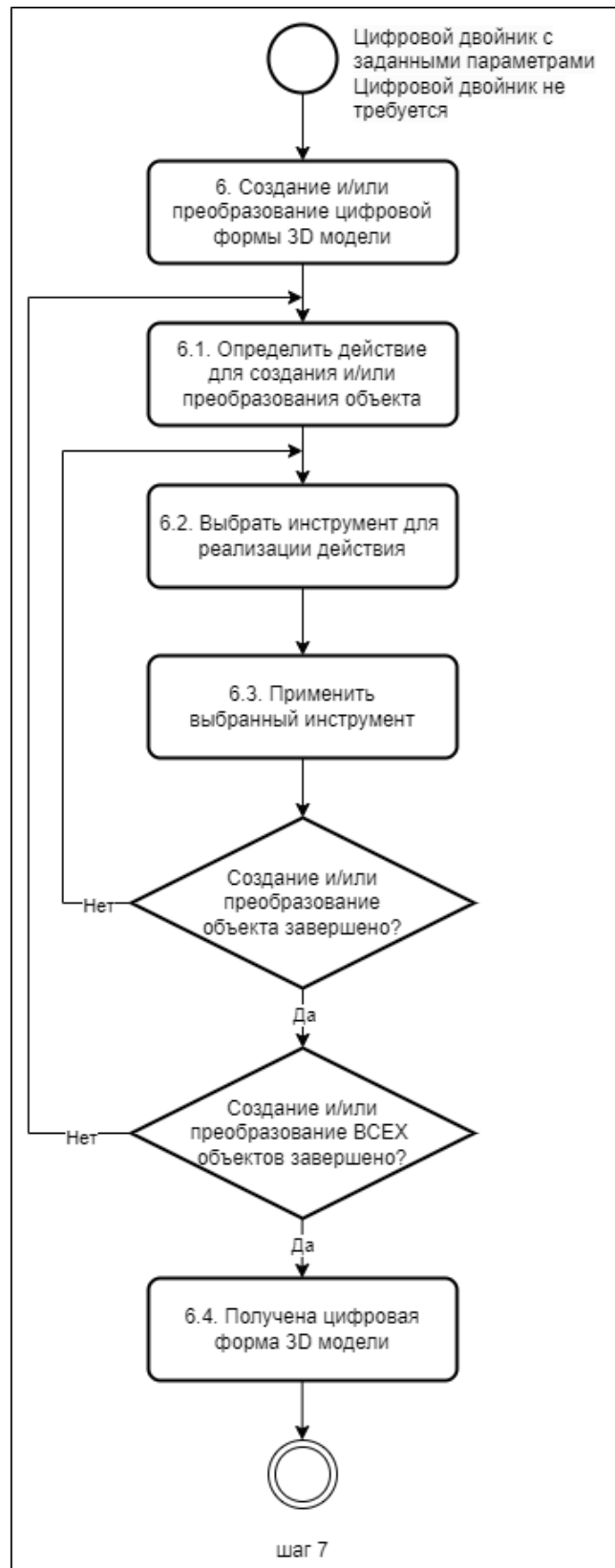


Рисунок 1.24 – Схема шестого этапа технологии создания и/или преобразования цифровой формы 3D моделей одежды

Полученный результат следует подвергнуть анализу, а именно задать вопрос «Соответствует ли полученный результат поставленным цели и задачам?», что является содержанием 7 этапа технологии – «Анализ полученного результата» (рис. 1.25).

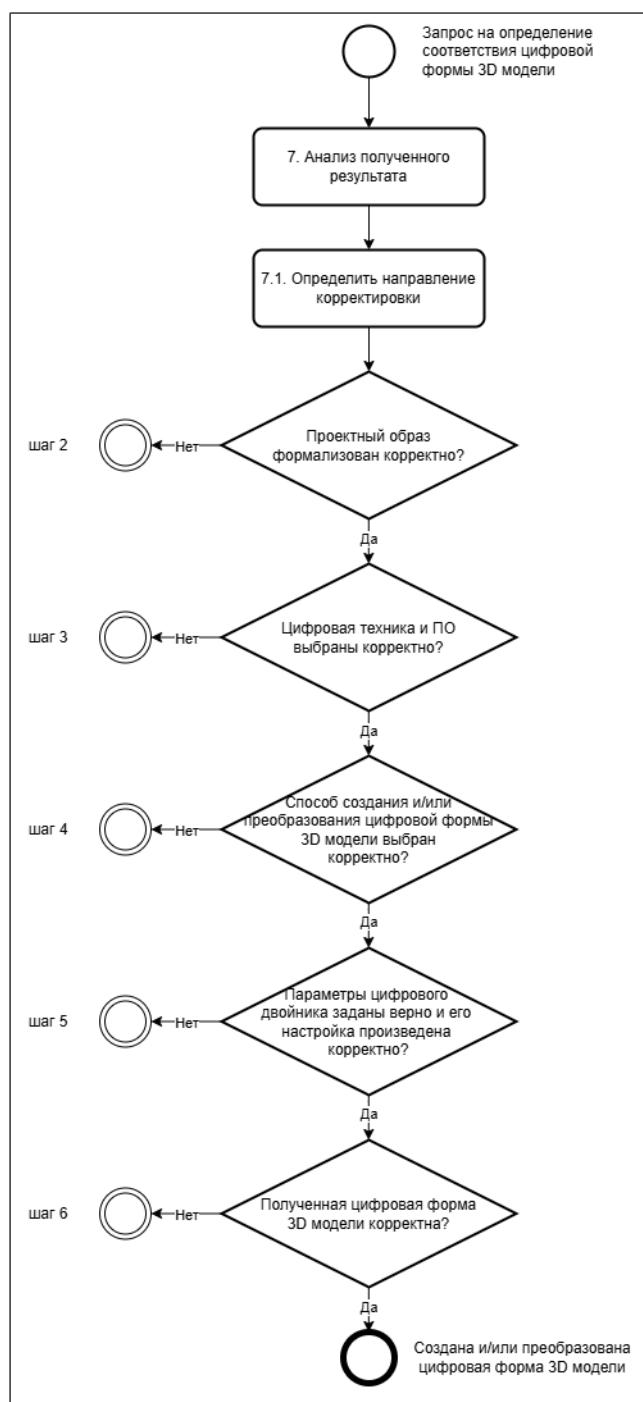


Рисунок 1.25 – Схема седьмого этапа технологии создания и/или преобразования цифровой формы 3D моделей одежды

Если полученный результат не соответствует поставленным цели и задачам, то осуществляется определение направления корректировки и технология выполняется повторно с необходимого этапа.

Проведенное исследование технологии создания цифровых 3D моделей одежды позволило выделить следующие положения:

- технология создания различных цифровых форм 3D моделей одежды может быть единой вне зависимости от формы представления 3D модели и видов одежды, ее составляющих;
- выбор способа создания и/или преобразования цифровой формы 3D модели находится в прямой зависимости от поставленной цели, решаемых задач и имеющейся цифровой техники и программного обеспечения;
- процесс создания и/или преобразования цифровой формы 3D модели возможен с использованием цифрового двойника или без него;
- цифровой двойник для создания и/или преобразования цифровой формы 3D модели может быть задан и настроен инструментами программного обеспечения или посредством промпта (текстового описания или визуального представления);
- цифровая форма 3D моделей одежды может иметь различные характеристики объемно-пространственной структуры в зависимости от используемой цифровой техники и программного обеспечения;
- представленная единая технология раскрывает сущность основных процессов создания и/или преобразования цифровых 3D моделей одежды, но требует детального рассмотрения с учетом различных целей и задач цифрового проектирования одежды, в т.ч. проектирования промышленных изделий разных силуэтно-объемных форм.

1.5. Задачи диссертации

Анализ современного состояния процессов развития цифровой моды и технологий проектирования цифровых моделей одежды показал, что несмотря на большое количество научных исследований и практических разработок нерешенной остается проблема совершенствования процесса проектирования цифровых моделей одежды разных силуэтно-объемных форм, соответствующих модным тенденциям, потребностям и антропометрическим особенностям российского потребителя, имеющих высокую степень идентичности внешней формы с реальным образцом.

Следовательно, целью работы является разработка технологии проектирования цифровых моделей женских платьев с разной силуэтно-объемной формой.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Исследовать морфологические признаки внешней формы цифровых аватаров и манекенов типовой женской фигуры.

2. Исследовать внешнюю форму женских платьев и изучить приемы ее конструктивного формообразования для получения разных силуэтно-объемных форм женской однослойной плечевой одежды.

3. Разработать алгоритм конструирования и математического описания плоских разверток деталей визуально различимых моделей женских платьев.

4. Разработать систему показателей оценки внешней формы платьев и степени ее визуальной идентичности материальному образцу.

5. Создать базу данных цифровых плоских разверток деталей и цифровых двойников женских платьев разных силуэтно-объемных форм с качественной посадкой на фигуре.

6. Разработать технологию создания цифровых двойников женских платьев однослойной плечевой одежды с использованием разработанной базы данных, приемов конструктивного моделирования и системы оценки цифровых двойников.

7. Апробировать разработанную технологию при создании моделей женской однослойной одежды.

Выводы по главе 1

1. На основе анализа практики и научных исследований в области цифровизации модной индустрии выявлена актуальная проблема необходимости совершенствования процессов проектирования цифровых моделей женской однослойной плечевой одежды разных силуэтно-объемных форм, обеспечивающих идентичность визуализации внешней формы цифровой 3D модели и материального образца и позволяющих снизить производственные затраты предприятий на разработку новых моделей одежды.

2. Определены 2D и 3D формы представления цифровых моделей одежды, их функции, исходные данные и средства их создания, область применения. Выделены цифровые модели, создаваемые в реальном мире и преобразованные в цифровые формы; создаваемые и существующие только в цифровом пространстве; создаваемые в цифровом пространстве для дальнейшего воспроизведения в физические формы.

3. Определено авторское понимание формы цифровой одежды, как цифровой объемно-пространственной структуры 3D модели, которую она принимает на субъекте проектирования. Определены элементы цифрового представления формы цифровых 3D моделей одежды: развертки деталей и их объемно-пространственная структура.

4. Рассмотрены положения о способах и средствах формообразования внешней объемной формы одежды применительно к вопросу создания форм цифровых 3D моделей одежды. В среде цифрового проектирования опорная поверхность цифровой одежды образуется трехмерной моделью типовой фигуры (аватар и/или 3D манекен), или трехмерной моделью индивидуальной фигуры (аватар и/или 3D манекен), или трехмерной параметрической моделью. Опорные поверхности выступают в качестве субъектов проектирования.

5. Установлено, что элементы цифрового представления формы цифровой одежды, являющиеся объектами проектирования, создаются в программах автоматизированного проектирования на основе геометрического 2D и/или 3D моделирования одним из способов или их комбинацией: «от 2D разверток деталей к 3D форме»; «от 3D формы к 2D развертке деталей»; преобразование 3D формы; «от промпта к 3D форме».

6. Рассмотрены существующие методы исследования внешней формы цифровой одежды и элементов ее цифрового представления.

7. Проведен анализ существующих технологий создания цифровых 2D и 3D моделей одежды. На его основе разработаны и формализованы единые технологии создания и/или преобразования цифровых 2D и 3D форм цифровых моделей одежды.

ГЛАВА 2. ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В данной главе определены объекты исследования: цифровые аватары программ трехмерного проектирования; манекены типовых женских фигур, соответствующие антропометрическим особенностям телосложения женского населения России; плоские развертки деталей женских платьев; внешняя форма цифровых двойников и материальных образцов одежды разных силуэтов и разных объемных форм. Цифровые аватары и манекены типовых женских фигур выступают субъектами проектирования внешней формы и конструкции женских платьев разных силуэтно-объемных форм в цифровой и реальной средах, которые в свою очередь являются объектами проектирования. Обоснован выбор методов, оборудования и компьютерного программного обеспечения для исследования и оценки внешней формы. Результаты данной главы опубликованы в статьях [127, 159].

2.1. Аватары цифровой среды и манекены типовых женских фигур

В данном исследовании в качестве субъекта проектирования определена женская типовая фигура второй полнотной группы базового размера 164-92-98 [90]. Для экспериментальной работы в реальных условиях выбраны три манекена (рис. 2.1) от различных производителей, маркировка которых соответствует ГОСТ 31396-2009, а их размерные параметры соответствуют выбранному базовому размеру и представлены в таблице 2.1, а для цифровой среды – аватары программ Clo3D и Style3D (рис. 2.2), размерные параметры которых в рамках исследования заданы согласно базовому размеру.

Манекен А



Манекен Б



Манекен В



а) вид спереди

б) вид сзади

в) вид справа

г) вид слева

Рисунок 2.1 – Манекены торсов женской фигуры второй полнотной группы базового размера 164-92-98

Таблица 2.1 – Величины размерных признаков типовой фигуры женщины 2-ой полнотной группы, обхват груди 92 см, рост 164 см [96]

Номер размерного признака (ГОСТ 31396-2009)	Наименование размерного признака	Условное обозначение размерного признака	Величина, см	Величина интервала безразличия, см
1	2	3	4	5
13	Обхват шеи	Ош	35,6	$\pm 0,4$
16	Обхват третий груди	ОгIII (Ог3)	92	± 2
18	Обхват талии	От	71,6	± 2

Окончание таблицы 2.1

1	2	3	4	5
19	Обхват бедер с учетом выступа живота	Об	98	± 2
31	Длина плечевого ската	Шп	13,2	$\pm 0,15$
35a	Расстояние от точки основания шеи сбоку до сосковой точки (высота груди)	Вг	27,7	$\pm 0,45$
46	Расстояние между сосковыми точками	Цг	20	$\pm 0,3$

Аватар А



Аватар Б



а) вид спереди

б) вид сзади

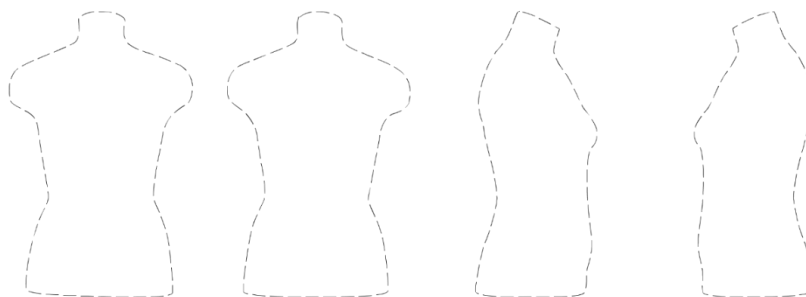
в) вид справа

г) вид слева

Рисунок 2.2 – Аватары женской фигуры второй полнотной группы базового размера 164-92-98

С целью установления характеристик внешней формы манекенов и их сопоставления друг с другом произведена студийная фотосъемка во фронтальных и сагиттальных плоскостях. Полученные 2D фотоизображения манекенов приведены к единому масштабу в программе Adobe Photoshop, в программе Adobe Illustrator созданы абрисы границ форм каждого манекена с линиями разметки в отдельности (рис. 2.3) и произведено их наложение с выравниванием по вертикали и горизонтали для вида спереди и сзади в точке пересечения срединной сагиттальной и горизонтальной плоскостей по линии талии, для вида сбоку (справа и слева) в точке пересечения фронтальной и горизонтальной плоскостей по линии талии (рис. 2.4).

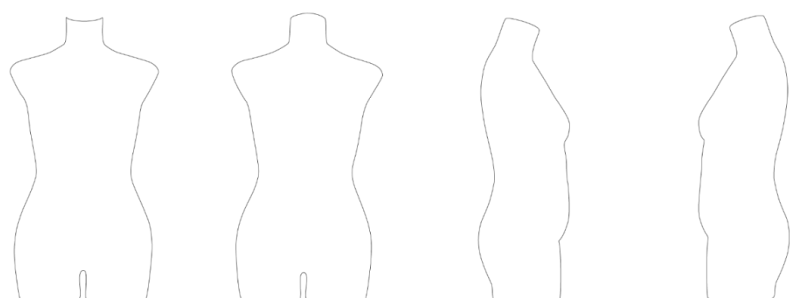
Манекен «А»



Манекен «Б»



Манекен «В»



а) вид спереди

б) вид сзади

в) вид справа

г) вид слева

Рисунок 2.3 – Абрисы манекенов

----Абрис манекена «А» ---- Абрис манекена «Б» — Абрис манекена «В»

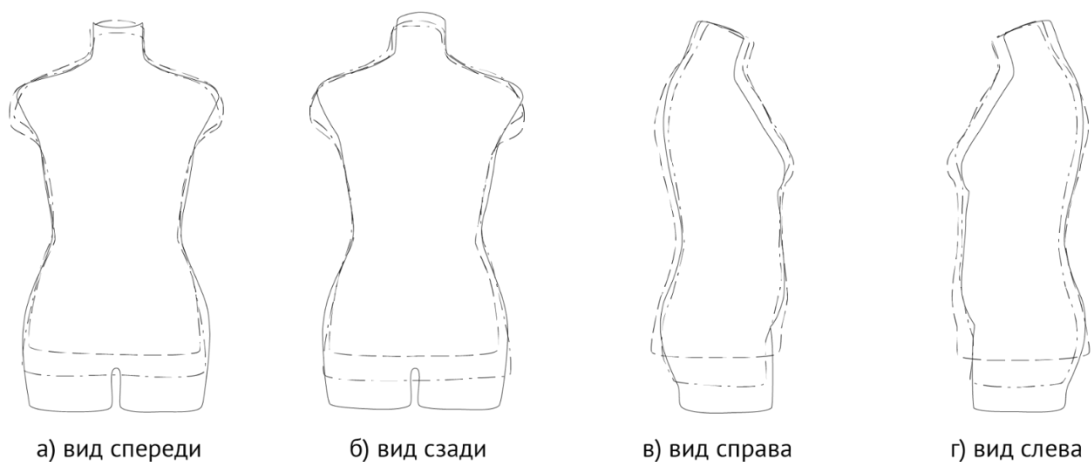


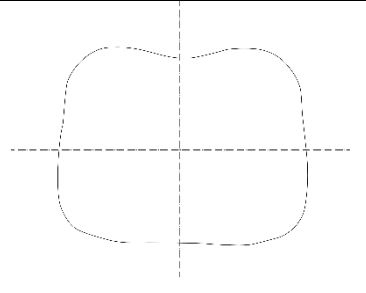
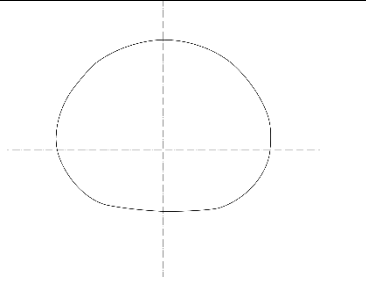
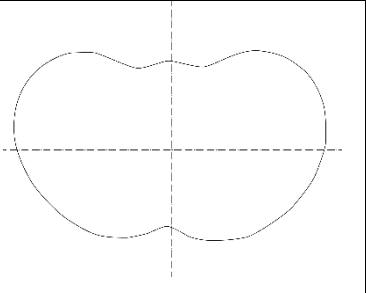
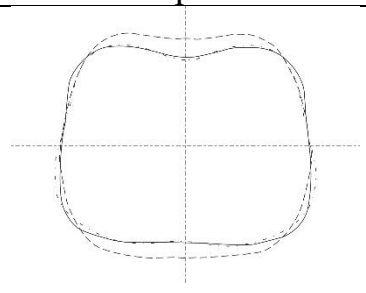
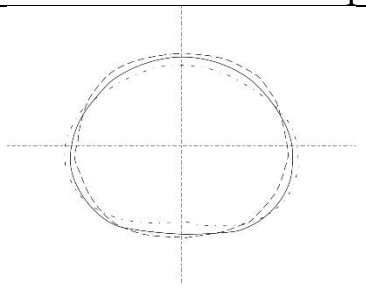
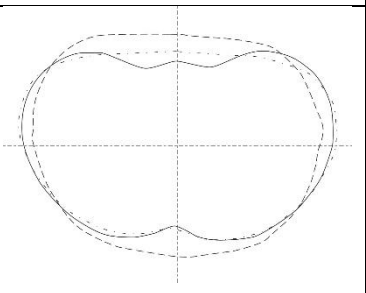
Рисунок 2.4 – Наложение абрисов манекенов

Далее произведено трехмерное сканирование поверхности манекенов методом бесконтактного 3D сканирования с применением программно-аппаратного комплекса Texel Portal MX [149] и получены сечения на уровне грудного, талиевого и бедренного конструктивных поясов. Изображения сечений конструктивных поясов манекенов каждого в отдельности и их наложение представлены в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Абрисы сечений конструктивных поясов манекенов

Манекен	Абрисы сечений манекенов по конструктивным поясам		
	Грудной	Талиевый	Бедренный
1	2	3	4
А			
Б			

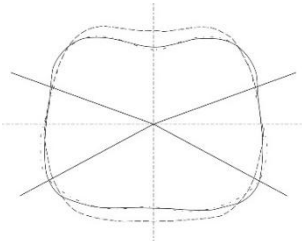
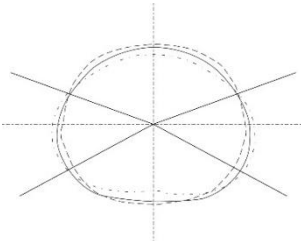
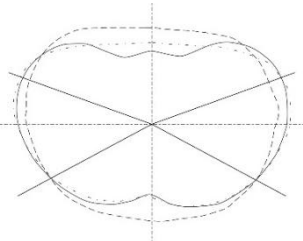
Окончание таблицы 2.2

1	2	3	4
В			
Наложение абрисов сечений манекенов по конструктивным поясам			
А+Б+В			

Полученные сечения манекенов на уровне грудного, талиевого и бедренного конструктивных поясов разделены на переднюю, заднюю и боковые зоны согласно рекомендациям [150] с использованием метода аппроксимации отдельных участков тела окружностями, радиусы которых определены графическим способом с учетом величины углов для основных криволинейных участков тела. Для определения передней и задней зон взяты средние величины углов (α) в градусах: 70° – передняя, 62° – задняя. В таблице 2.3 представлены графические интерпретации выделения зон сечений манекенов по конструктивным поясам и приведены значения длин криволинейных участков выделенных зон в сантиметрах.

Из таблицы 2.3 видно, что длины криволинейных участков манекенов во всех зонах имеют различия при их сравнении друг с другом, а также у манекенов А и Б наблюдаются существенные различия длин при сравнении их правой и левой боковых зон.

Таблица 2.3 – Сечения манекенов на уровне грудного, талиевого и бедренного конструктивных поясов с разделением на переднюю, заднюю и боковые зоны

Манекен	Наложение абрисов сечений манекенов по конструктивным поясам с делением на переднюю, заднюю и боковые зоны			
	Грудной	Талиевый	Бедренный	
А+Б+В	передняя зона 	передняя зона 	передняя зона 	
	задняя зона	задняя зона	задняя зона	
Длина криволинейного участка поверхности манекена на уровне грудного конструктивного пояса, см				
	Передняя зона	Правая боковая зона	Левая боковая зона	Задняя зона
А	36,9	12,4	12,3	32,11
Б	35,7	12,8	12,8	30,5
В	35,9	12,7	12,6	31,15
Длина криволинейного участка поверхности манекена на уровне талиевого конструктивного пояса, см				
А	28,2	10,3	10,3	28,2
Б	25,7	11,5	11,3	25,2
В	26,8	10,9	10,8	25,8
Длина криволинейного участка поверхности манекена на уровне бедренного конструктивного пояса, см				
А	38,4	13,9	13,9	30,9
Б	37,6	15,5	15,2	29,1
В	39,5	15,0	14,9	29,9

Проведенный анализ позволил установить, что все манекены изготовлены в соответствии с отраслевыми стандартами на манекены для женской одежды [151] и имеют величины размерных признаков, находящиеся в интервале безразличия для данного размеро-роста, указанные в таблице 2.1. Однако, сравнение контуров абрисов и сечений по

основным конструктивным поясам показывает, что их внешняя форма имеет визуальные и количественные различия:

1. В срединной сагиттальной плоскости (вертикальная плоскость, продольно разделяющая человека в нейтральной позе на две равные половины – левую и правую) абрис манекена «А» имеет более широкую проекцию сечения формы на участках линии груди, линии талии и линии бедер по сравнению с абрисами манекенов «Б» и «В» (рис. 2.4 в, г).

2. Во фронтальных плоскостях (вертикальные плоскости тела, ортогональные к горизонтальным и сагиттальным плоскостям – передняя и задняя) абрис манекена «Б» в верхней и нижней частях торса фигуры имеет среднее расположение по отношению к абрисам двух других манекенов, но на участке линии талии имеет более широкую проекцию сечения, что влияет на визуальное восприятие его формы в целом – манекен «Б» визуально воспринимается шире во фронтальной плоскости по сравнению с манекенами «А» и «В» (рис. 2.4 а, б).

Результаты сравнения и оценки внешней формы манекенов обусловили выбор манекена «В» в качестве контрольного для данного исследования как субъекта проектирования, внешняя форма которого в срединно сагиттальных и фронтальных плоскостях одновременно имеет визуально гармоничную и равномерную объемно-пространственную структуру на участках линии груди, линии талии и линии бедер.

Аналогично проанализированы внешние формы аватаров «А» и «Б» программ Clo3D и Style3D соответственно, являющихся субъектами проектирования в условиях цифровой среды. Для этого в программном обеспечении аватару («А» в Clo3D версия 7.2 и «Б» в Style3D версия Individual Free) заданы параметры размерных признаков, представленные в таблице 2.1, в соответствии с выбранной для исследования типовой фигурой. Получены 2D фотоизображения аватаров (рис. 2.2) в 4 проекциях. Далее в программе Adobe Illustrator 2D фотоизображения аватаров

приведены к единому масштабу и произведено наложение их торсов с выравниванием по вертикали и горизонтали для вида спереди и сзади в точке пересечения срединной сагиттальной и горизонтальной плоскостей по линии талии, для вида сбоку (справа и слева) в точке пересечения фронтальной и горизонтальной плоскостей по линии талии (рис. 2.5). Визуальный анализ наложения 2D фотоизображений торсов аватаров показал, что:

1. Во фронтальных плоскостях на участках линии груди и линии бедер границы формы аватара «Б» выступают за границы формы аватара «А».

2. В срединно сагиттальных плоскостях на участке выше линии талии границы формы аватара «Б» на уровне линии груди и в области лопаток шире, по сравнению с границами формы аватара «А» на аналогичных участках. А на участке между линией талии и линией бедер наблюдается выступание границ формы аватара «Б» спереди по сравнению с границами формы аватара «А» и, напротив, выступание границ формы аватара «А» сзади по сравнению с границами формы аватара «Б».

Проведенный визуальный анализ внешних форм аватаров «А» и «Б» выявил различия между аватарами разных программ во фронтальных и срединно сагиттальных плоскостях. Для определения аватара в качестве контрольного для проведения эксперимента в условиях цифровой среды необходимо провести сравнение и оценку внешних форм аватаров с внешней формой контрольного манекена «В».

Алгоритм сравнения и оценки внешних форм манекена «В» с аватарами «А» и «Б» включает следующие действия:

- получение 2D фотоизображений торсов манекена и аватаров во фронтальных и сагиттальных плоскостях;
- приведение 2D фотоизображений торсов манекена и аватаров к единому масштабу;

– создание графических образов (абрисов) внешних границ форм торсов манекена и аватаров по их 2D фотоизображениям;



Рисунок 2.5 – Сравнение фотоизображений торсов аватаров в программе Adobe Illustrator

– определение схемы детального сравнения абрисов манекена и аватаров: «В+А», «В+Б», «В+А+Б»;

– наложение 2D фотоизображений с абрисами торсов манекена и аватаров с выравниванием по вертикали и горизонтали в точке пересечения срединной сагиттальной и горизонтальной плоскостей по линии талии, для вида сбоку (справа и слева) в точке пересечения фронтальной и горизонтальной плоскостей по линии талии по определенной схеме (рис. 2.6);

– наложение 2D фотоизображений с абрисами торсов манекена и аватаров с выравниванием в сагиттальной плоскости (вид справа) по вертикали в точке выступа лопаток по отдельности и по схеме «В+А+Б» для установления характеристик осанки манекена и аватаров, определяющих форму плечевой опорной поверхности (рис. 2.7);

– наложение 2D фотоизображений с абрисами торсов манекена и аватаров с выравниванием в сагиттальной плоскости (вид справа) по вертикали в точке выступа ягодиц по определенной схеме (рис. 2.8);

- наложение 2D фотоизображений с абрисами торсов манекена и аватаров с выравниванием в сагиттальной плоскости (вид справа) по вертикали в точке выступа грудных желез по определенной схеме (рис. 2.9);
- наложение 2D фотоизображений с абрисами торсов манекена и аватаров с выравниванием во фронтальной плоскости (вид спереди) по горизонтали в точках основания шеи и по вертикали по средней линии согласно определенной схеме для измерения наклона плечевых скатов плечевой опорной поверхности манекена и аватаров (рис. 2.10);
- проведение оценки результатов детального сравнения 2D фотоизображений и абрисов торсов манекена и аватаров органолептическими методами;
- проведение оценки формы плечевой опорной поверхности манекена и аватаров измерительными методами.

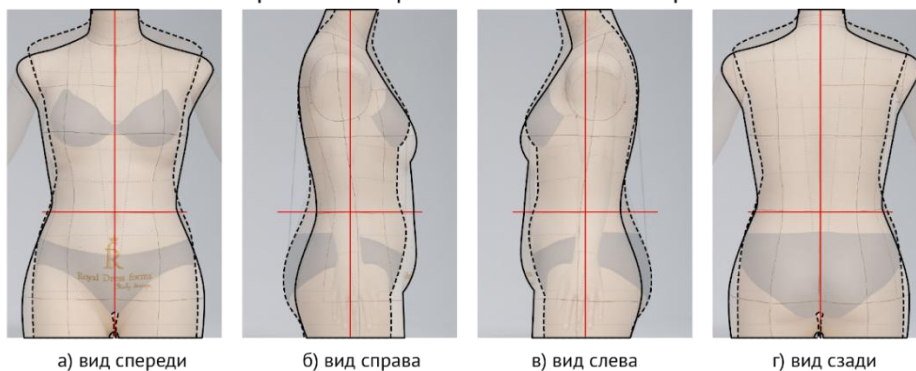
В ходе реализации алгоритма сравнения и оценки внешней формы манекена и аватаров использована цифровая фотокамера для создания 2D фотоизображений манекена и ноутбук с программным обеспечением Clo3D и Style3D для получения 2D фотоизображений аватаров программ, а также Adobe Illustrator для создания абрисов и осуществления наложения изображений и абрисов манекена и аватаров.

Проведенный визуальный анализ внешних форм манекена «В» с его цифровыми аналогами в виде аватаров «А» и «Б» позволил сделать следующие выводы:

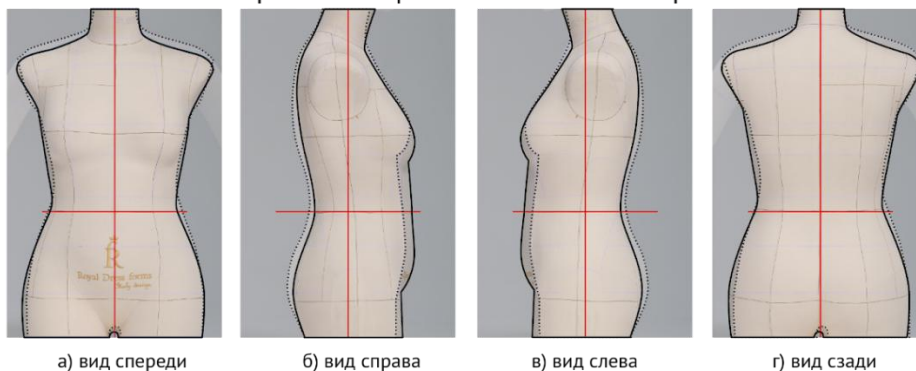
1. Несмотря на видимые различия в позиционировании границ внешних форм манекена и аватара относительно друг друга при их попарном наложении с выравниванием по срединно сагиттальным плоскостям (существенные для аватара «А» и незначительные для аватара «Б»), границы форм манекена и аватаров во всех проекциях имеют высокую степень визуального подобия на участках линии груди, линии талии и линии бедер.

2. Сравнение границ внешних форм манекена с аватарами в сагиттальной плоскости с выравниванием в точках выступа лопаток, выступа ягодиц и выступа грудных желез показало, что границы аватара «А» отклоняются от границ манекена существеннее в сравнении с аватаром «Б».

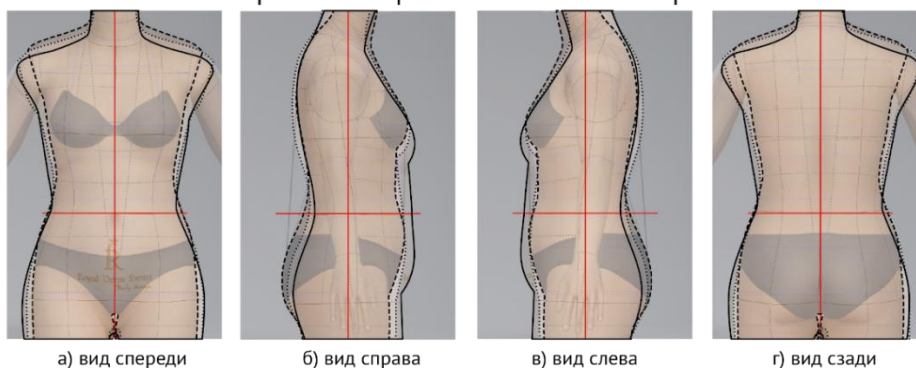
Наложение 2D изображений торсов манекена и аватара по схеме «В+А»



Наложение 2D изображений торсов манекена и аватара по схеме «В+Б»



Наложение 2D изображений торсов манекена и аватара по схеме «В+А+Б»



— Манекен «В» - - - - - Аватар «А» Аватар «Б»

Рисунок 2.6 – Наложение 2D фотоизображений торсов и абрисов манекена «В» и аватаров «А» и «Б» – с выравниванием по вертикали и горизонтали по линии талии

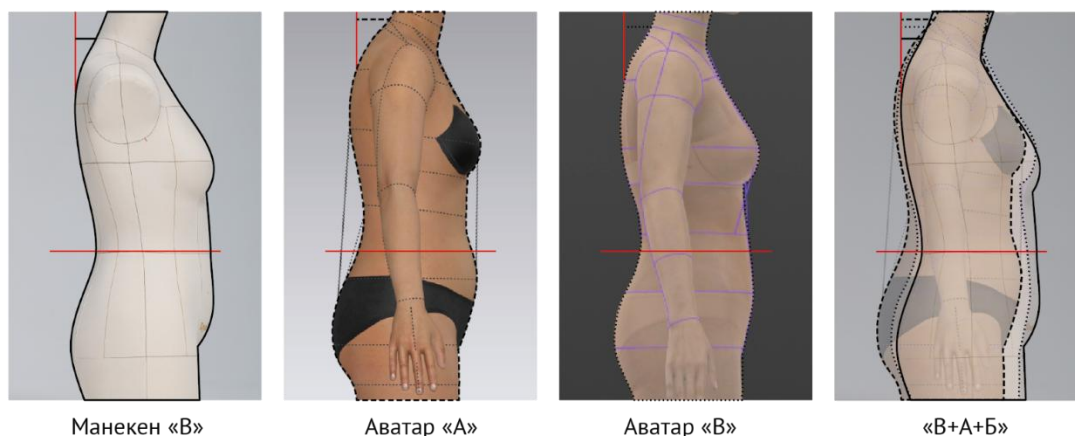


Рисунок 2.7 – Наложение 2D фотоизображений торсов и абрисов манекена «В» и аватаров «А» и «Б» – с выравниванием по вертикали в точке выступа лопаток

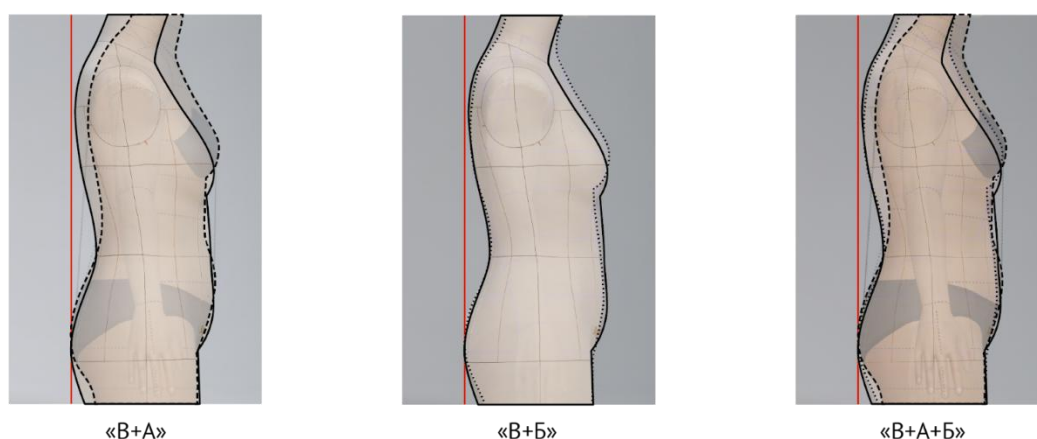


Рисунок 2.8 – Наложение 2D фотоизображений торсов и абрисов манекена «В» и аватаров «А» и «Б» – с выравниванием по вертикали в точке выступа ягодиц (вид справа)

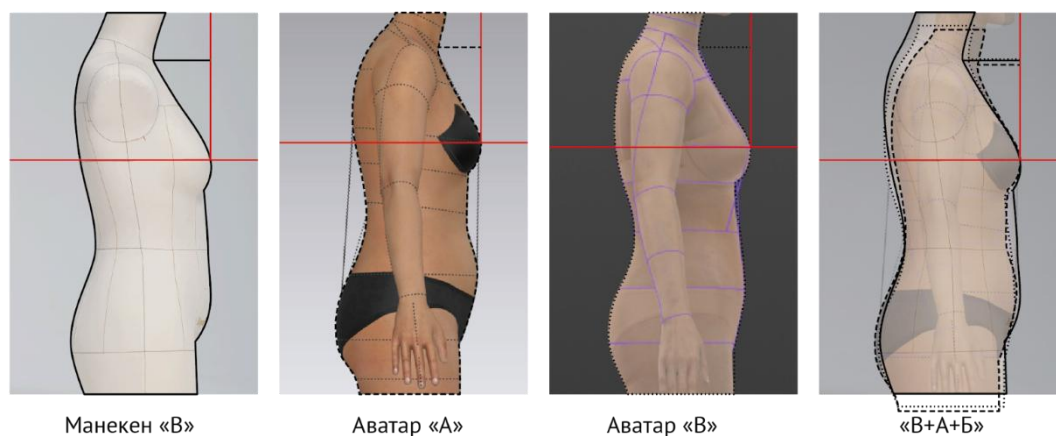


Рисунок 2.9 – Наложение 2D фотоизображений торсов и абрисов манекена «В» и аватаров «А» и «Б» – с выравниванием по вертикали в точке выступа грудных желез (вид справа)

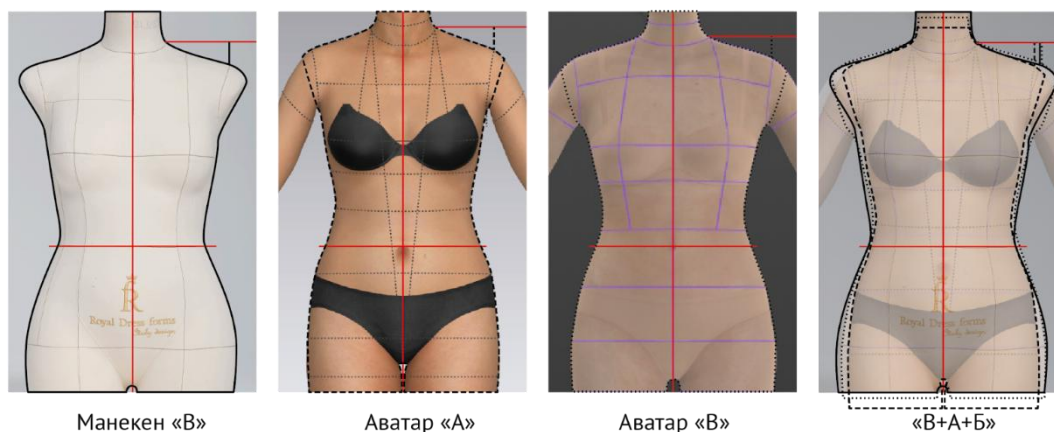


Рисунок 2.10 – Наложение 2D фотоизображений торсов и абрисов манекена «В» и аватаров «А» и «Б» – с выравниванием по горизонтали в точке основания шеи

3. Сравнение границ внешних форм манекена и аватаров в сагиттальной плоскости с выравниванием в точках выступа лопаток установило, что манекен «В» приближен к перегибистому типу осанки, аватар «Б» соответствуют нормальному типу осанки, а аватар «А» приближен к сутулому типу осанки.

4. Фронтальное сравнение абриса манекена с абрисами аватаров с выравниванием в точке основания шеи в горизонтальной плоскости показало, что на участке линии плеч абрисы манекена «В» и аватара «А» имеют большее визуальное и позиционное подобие по сравнению с аналогичным участком абриса аватара «Б».

5. Фронтальное измерение угла наклона плечевых скатов абрисов торсов манекена и аватаров установило, что плечевые скаты манекена «В» ($20,46^\circ$) и аватара «А» ($21,4^\circ$) имеют близкие значения и соответствуют средней величине угла наклона плеч у женщин (21°), что соответствует типу осанки фигуры с нормальной высотой плеч, тогда как угол наклона плечевых скатов аватара «Б» ($18,45^\circ$) свидетельствует о его принадлежности к высокоплечему типу осанки фигуры.

Следует также отметить, что выявленное различие внешних форм манекенов «В», «Б» и «А» между собой может оказать влияние на

визуальное восприятие формы и качество посадки одежды прилегающего и полуприлегающего силуэтов, для которых морфологическое подобие всех точек опорной поверхности субъекта проектирования (будь то трехмерная модель типовой или индивидуальной фигуры или параметрическая модель) имеет решающее (существенное) значение. Причем аналогичная ситуация наблюдается и в среде цифрового проектирования: даже незначительное морфологическое различие внешней формы цифровых субъектов проектирования (рис. 2.5) также может повлиять на визуальное восприятие формы и качество посадки одежды прилегающего и полуприлегающего силуэтов, о чем свидетельствуют результаты исследований [152, 153]. Однако для одежды объемной формы, к которой относятся геометрические фигуры-аналоги формы трапеция, прямоугольник и овал разной степени объемности, морфологическое подобие всех точек поверхности субъекта проектирования не столь существенно, т.к. данная форма одежды предполагает наличие зоны свободного формообразования [154], находящейся ниже опорной поверхности и не зависящей от пластики и морфологии фигуры. Подобие должно наблюдаться в области опорной поверхности. Применительно к конструированию плечевой одежды объемной формы к основному параметру, определяющему форму верхней опорной поверхности тела человека и боковой баланс конструкции формы, относят форму спинного и переднего контуров туловища, а к дополнительному – угол наклона плечевых скатов [73, 155]. Кроме того, согласно классификации телосложения женщины, разработанной на кафедре «Технологии швейного производства» РОСЗИТЛП (в н.в. Институт менеджмента и индустрии моды МГУТУ) и имеющей количественные критерии оценки телосложения, рассмотренные в исследовании манекены и аватары относятся к одному типу фигур (узкосложенные, $K_{пп} \leq 0,56$, где $K_{пп}$ – коэффициент продольно поперечных пропорций (или M – метрический индекс, который характеризует

количество подкожно-жировой клетчатки и рассчитывается по формуле $Og3/Рост$)), а значит к ним может быть применено единое конструктивно-композиционное решение при проектировании модели одежды. Сопоставление манекена «В» и аватаров «А» и «Б» при совмещении опорных поверхностей абрисов торсов представлено на рис. 2.11 и 2.12.

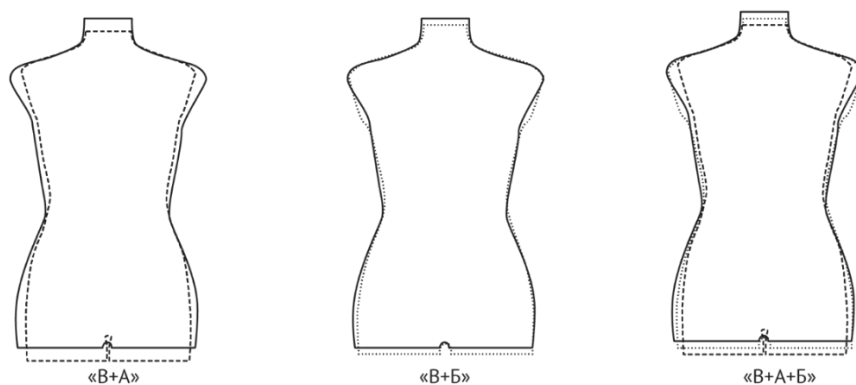


Рисунок 2.11 – Совмещение опорных поверхностей абрисов торсов манекена «В» и аватаров «А» и «Б» (вид спереди)

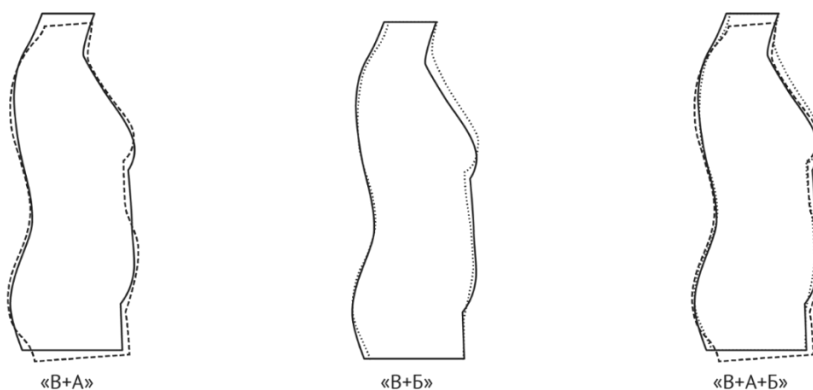


Рисунок 2.12 – Совмещение опорных поверхностей абрисов торсов манекена «В» и аватаров «А» и «Б» (вид сбоку)

Учитывая вышесказанное и результаты анализа внешних форм манекена «В» и его цифровых аналогов, выявлены их незначительные отклонения по показателям положения корпуса и высоты плеч, также различия очертаний контуров в сагиттальной и фронтальной плоскостях. Так как для проведения эксперимента в реальных условиях был выбран манекен «В», то для проведения эксперимента в условиях цифровой среды в качестве контрольного субъекта проектирования выбран аватар «А», чья внешняя форма опорной поверхности в области основных и

дополнительных для данного исследования конструктивных поясов (шейный, плечевой, грудной) имеет самую высокую степень подобия аналогичной внешней форме контрольного манекена «В».

2.2. Плоские развертки деталей женских платьев и их математические модели

Проектирование одежды есть процесс создания нового образца одежды с заданными свойствами или процесс преобразования существующего, в ходе которого образцу задаются новые свойства. Процесс создания и/или преобразования одежды носит поэтапный характер, включающий целеполагание, исследование и анализ аналогов, создание эскизов, макетов и моделей, расчеты и построение чертежей деталей изделий (развертка объемной формы изделия на плоскости – получение плоских разверток деталей), изготовление опытных образцов. На основе проведенных предпроектных исследований и анализа аналогов рождается творческая концепция, которая воплощается в проектном образе. Проектный образ выражается вербально/невербально элементами одежды и/или их сочетаниями в аналоговом или цифровом виде на основе технического задания или как результат творческого процесса, в соответствии с поставленными целью и задачами. Разработанный таким образом проектный образ определяет исходные данные для следующего этапа процесса создания одежды – получения плоских разверток деталей изделия.

В рамках данной работы объектами исследования являются внешняя форма женских платьев разных силуэтно-объемных форм и плоские развертки деталей их составляющие, параметры которых задаются проектным образом, невербально представленным техническим заданием (таблицы 2.4, 2.5).

Таблица 2.4 – Техническое задание. Общие характеристики проектируемых изделий

Наименование характеристики	Параметры изделия
Наименование изделий и код	МК1 – Платье силуэта трапеция: МК1_1 – малого объема; МК1_2 – среднего объема; МК1_3 – большого объема; МК1_4 – больше среднего объема. МК2 – Платье прямого силуэта: МК2_1 – малого объема; МК2_2 – среднего объема; МК2_3 – больше среднего объема; МК2_4 – большого объема. МК3 – Платье овального силуэта: МК3_1 – больше среднего объема; МК3_2 – среднего объема; МК3_3 – малого объема; МК3_4 – большого объема.
Структура изделий	Стан платья без рукавов и воротника
Общее целевое назначение изделий	Бытовое
Размер	92 см (Ог3)
Рост	164 см (Р)
Полнотная группа	Вторая
Возрастная группа	Младшая и средняя
Основные материалы	Макетная бязь

Таблица 2.5 – Техническое задание. Характеристики внешней формы моделей проектируемых изделий

МК1	МК1_1	МК1_2	МК1_3	МК1_4
1	2	3	4	5
Элементы формы	Спинка, перед	Спинка, перед	Спинка, перед	Спинка, перед
Силуэт	Трапецевидный	Трапецевидный	Трапецевидный	Трапецевидный
Объем	Малый	Средний	Большой	Больше среднего
Ширина плеч	Нормальные	Нормальные	Нормальные	Нормальные
Высота плеч	Естественные	Естественные	Естественные	Естественные
Степень прилегания по конструктивным поясам:				
грудной	Плотное	Среднее	Свободное	Плотное
талиевый	Свободное	Очень свободное	Очень свободное	Очень свободное
бедренный	Свободное	Свободное	Свободное	Свободное
Членение:				
продольное	Двухшовное	Двухшовное	Двухшовное	Двухшовное
поперечное				
Ширина низа	Расширенная	Очень расширенная	Очень расширенная	Очень расширенная
Уровень линии низа	Выше колена	Выше колена	Выше колена	Выше колена

Продолжение таблицы 2.5

1	2	3	4	5
МК2	МК2_1	МК2_2	МК2_3	МК2_4
Элементы формы	Спинка, перед	Спинка, перед	Спинка, перед	Спинка, перед
Силуэт	Прямой	Прямой	Прямой	Прямой
Объем	Малый	Средний	Больше среднего	Большой
Ширина плеч	Нормальные	Нормальные	Расширенные	Расширенные
Высота плеч	Естественные	Естественные	Естественные	Естественные
Степень прилегания по конструктивным поясам:				
грудной	Плотное	Плотное	Среднее	Свободное
талиевый	Свободное	Свободное	Свободное	Свободное
бедренный	Полуприлегающие	Полуприлегающие	Свободное	Свободное
Членение:				
продольное	Двухшовное	Двухшовное	Двухшовное	Двухшовное
поперечное				
Ширина низа	Прямая	Прямая	Прямая	Прямая
Уровень линии низа	Выше колена	Выше колена	Выше колена	Выше колена

Окончание таблицы 2.5

1	2	3	4	5
МКЗ	МКЗ_1	МКЗ_2	МКЗ_3	МКЗ_4
Элементы формы	Спинка, перед	Верхние части спинки, переда Нижние части спинки, переда	Спинка, перед	Спинка, перед
Силуэт	Овальный	Овальный	Овальный	Овальный
Объем	Больше среднего	Средний	Малый	Большой
Ширина плеч	Нормальные	Нормальные	Расширенные	Зауженные
Высота плеч	Естественные	Естественные	Естественные	Естественные
Степень прилегания по конструктивным поясам:				
грудной	Плотное	Плотное	Среднее	Плотное
талиевый	Свободное	Свободное	Свободное	Свободное
бедренный	Свободное	Свободное	Свободное	Свободное
Членение:				
продольное	Двухшовное	Двухшовное	Двухшовное	Двухшовное
поперечное		Отрезное по линии талии		
Ширина низа	Зауженная	Зауженная	Зауженная	Зауженная
Уровень линии низа	Выше колена	Выше колена	Выше колена	Выше колена

Для получения внешней формы объектов исследования применяется способ «от 2D развертки деталей к 3D форме». Следовательно, первым этапом является получение разверток деталей. В рамках исследования развертки получены расчетно-графическим методом, что предусматривает построение базовой конструктивной основы и ее моделирование для каждой силуэтно-объемной формы.

Алгоритм построения и расчет конструктивных участков чертежа базовой конструктивной основы осуществлен согласно методике конструирования «французский метод» [156, 157] и произведен в табличном редакторе MS Office Excel на основе измерений, необходимых и достаточных для применяемой методики конструирования. Измерения, необходимые для построения чертежа базовой конструктивной основы, приведены в Приложении Б. Такие размерные признаки фигуры, как «Длина середины переда» и «Длина середины спины», используемые во французской методике конструирования, отсутствуют в действующем ГОСТ 31396-2009 [96], а мерка «Высота груди» измеряется иначе, чем аналогичное измерение в ГОСТ 31396-2009 [96]. Поэтому величины данных измерений получены с манекена «В», принятого в качестве контрольного для данного исследования (выбор контрольного манекена подробно рассмотрен в параграфе 2.1. главы 2), способ определения размерного признака, алгоритм и расчет построения конструктивных участков чертежа представлены в Приложении Б.

В соответствии с алгоритмом построения инструментами программы Clo3D построены базисная сетка и 2D чертеж базовой конструктивной основы лифа (Приложение В), на его основе получены плоские развертки деталей лифа (спинка и перед) – рис. 2.13.

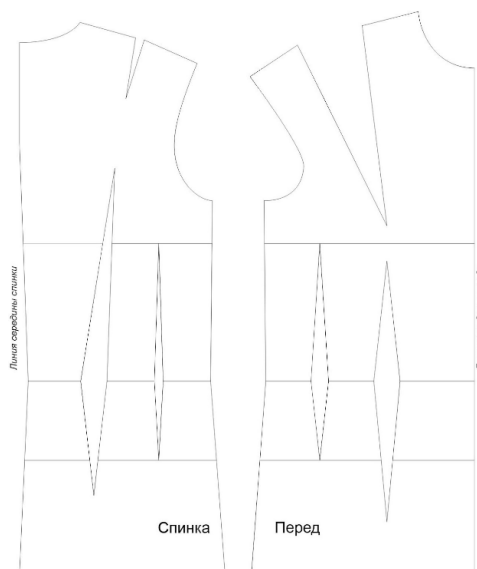


Рисунок 2.13 – Развертки деталей спинки и переда

Для визуализации внешней формы базовой конструктивной основы лифа, т.е. получения трехмерного цифрового двойника, каждой детали была назначена цифровая ткань из библиотеки программы Clo3D, наиболее соответствующая физическим свойствам заданной техническим заданием макетной бязи (плотность 138 г/м^2), и назначены «швы» по линиям контуров деталей и складывания формы (вытачки) инструментами Segment Sewing и Edit Sewing. Симуляция воспроизведения формы цифрового двойника базовой конструктивной основы лифа осуществлена на аватар «А» с заданными размерными признаками (рис. 2.14).



Рисунок 2.14 – Визуализация внешней формы базовой конструктивной основы лифа на аватаре «А» в программе Clo3D

Физическая форма материального образца базовой конструктивной основы лифа получена в результате переноса внешних контуров и внутренних линий формообразования плоских разверток деталей спинки и переда на макетную бязь, раскроя деталей, стачивания открытых срезов деталей (плечевые, боковые и средний срез спинки) и вытачек, и ее примерки на манекен «В» (рис. 2.15). Дополнительно примерка материального образца базовой конструктивной основы лифа осуществлена на манекены «Б» (рис. 2.16) и «А» (рис. 2.17).



Рисунок 2.15 – Фотоизображения примерки базовой конструктивной основы лифа на манекене «В»



Рисунок 2.16 – Фотоизображения примерки базовой конструктивной основы лифа на манекене «Б»



Рисунок 2.17 – Фотоизображения примерки базовой конструктивной основы лифа на манекене «А»

Дополнительная примерка на манекены «Б» и «А» проводилась в связи с тем, что, как установлено в параграфе 2.1. данного исследования, при одних и тех же значениях ведущих размерных признаков формы манекенов различны. Однако, при проектировании изделий массового производства с использованием типовых размерных признаков одежда должна обеспечивать хорошую посадку на фигурах данного размера, несмотря на незначительные (допустимые) отклонения в характеристиках их внешней формы. Примерка базовой конструктивной основы лифа материального образца на манекены «В», «Б» и «А» показала, что на всех манекенах конструктивная основа прилегающей формы имеет удовлетворительную посадку, при этом наилучшую форму она образует на манекене «А».

Анализ качества посадки материального образца и цифрового двойника, созданного в Clo3D, не выявил наличия значительных дефектов, балансовых нарушений или искажения деталей. Выявленные небольшие угловые заломы в области груди и талии на деталях переда моделей были полностью идентичны в цифровой и реальной средах.

Следовательно, полученные визуализации внешних форм цифрового двойника и материального образца базовой конструктивной основы лифа демонстрируют соответствие объемно-пространственной формы конструкции форме субъектам проектирования и друг другу, что позволяет приступить к преобразованию базовой конструктивной основы посредством приемов конструктивного моделирования с целью получения модельных конструкций заданных изделий.

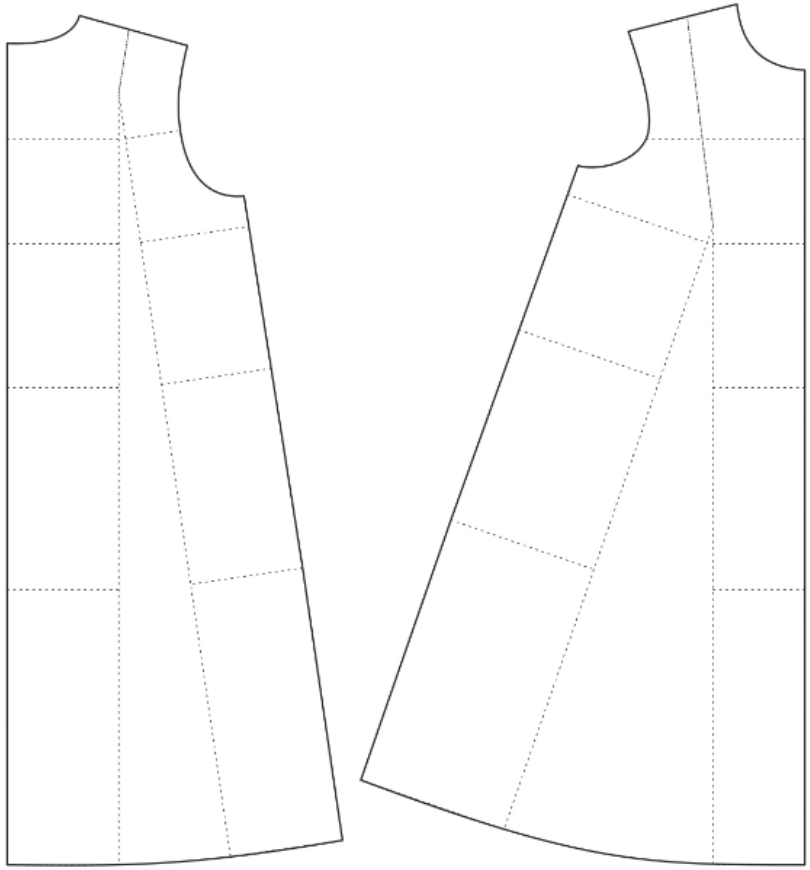
Создание моделей женских платьев трапецевидного и прямоугольного силуэтов разных объемных форм, параметры которых заданы техническим заданием (таблицы 2.4 и 2.5), произведено на основе базовой конструктивной основы лифа прилегающего силуэта с применением приемов конструктивного моделирования, а моделей

овального силуэта разных объемов – на основе модельной конструкции прямого силуэта малого объема (МК2_1). Расчетно-графическое моделирование плоских разверток женских платьев разных силуэтно-объемных форм произведено с применением программы Clo3D и табличного редактора MS Office Excel, визуализация формообразования созданных моделей выполнена в программе трехмерного моделирования Clo3D.

Создание формы «трапеция» малого (МК1_1), среднего (МК1_2) и большого (МК1_3) объема включало в себя введение конструктивной прибавки по линии груди на свободу и силуэт, углубление линии проймы и горловины, перевод нагрудной и плечевой вытачек в линию низа, спрямление боковой линии и средней линии спинки, удлинение деталей спинки и переда до линии колена и выполнения различного конического разведения в зависимости от получаемого объема. Создание формы «трапеция» с плотным прилеганием в области грудного конструктивного пояса (МК1_4) выполнено на основе модельной конструкции формы «трапеция» малого объема путем членения лифа на верхнюю и нижнюю части по линии груди, введения конического разведения нижних частей и спрямления боковой линии.

Алгоритм построения формы «трапеция» разных объемов приведен в таблице 2.6 и дополнен изображениями чертежей модельных конструкций проектируемых изделий.

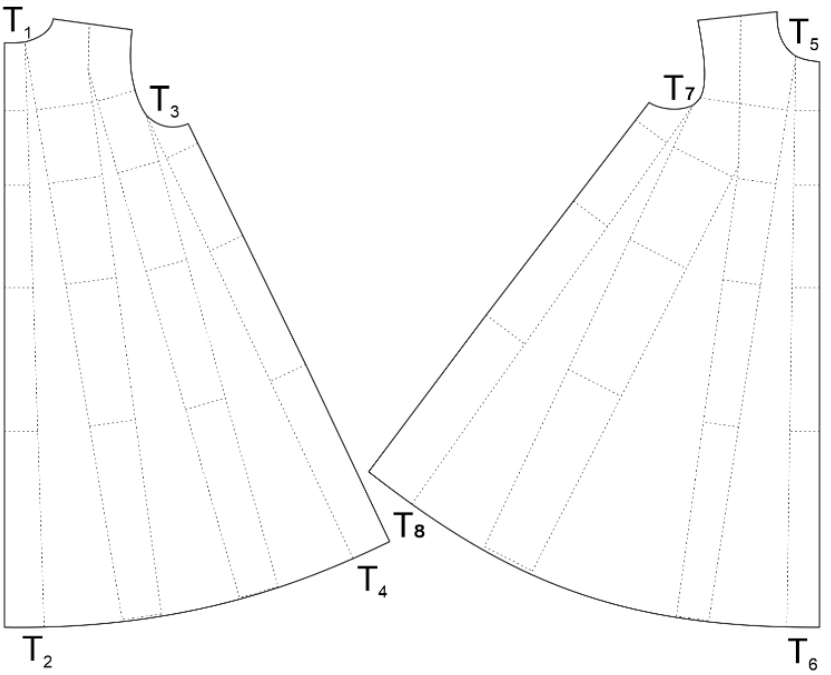
Таблица 2.6 – Алгоритм построения формы «трапеция» разных объемов

Вид изделия	Алгоритм построения	Изображение чертежа
1	2	3
1.1.	1. Перестроить базовую конструктивную основу лифа (далее – БК): 1.1.Задать прибавку на свободу (к полуобхвату): – по линии груди Пг=4 см; – по линии талии Пт=2 см; – по линии бедер Пб=2 см. 1.2.Углубить пройму спинки и переда: Пспр=1 см. 1.3.Углубить линию горловины спинки и переда по средней линии на 1 см. 1.4.Расширить линию горловины спинки и переда по линии плеча на 1 см. 2. Выполнить моделирование БК: 2.1.Углубить пройму спинки и переда: Пспр=1,5 см. 2.2.Спрямить среднюю линию спинки. 2.3.Спрямить боковую линию спинки и переда: соединить точки J_1, A_1 и I_1, B_1 отрезками.	

Продолжение таблицы 2.6

1	2	3
	2.4. Удлинить детали спинки и переда до линии колена параллельным переносом линии низа на 30 см вниз от линии бедер. 2.5. Задать прибавку к ширине спинки: $P_{шс}=0,5$ см. Скорректировать линию проймы спинки. 2.6. Задать прибавку к ширине переда: $P_{шг}=0,5$ см. Скорректировать линию проймы переда. 2.7. Перевести вытачки в линию низа: – величина раскрытия нагрудной вытачки в линию низа – 23,1 см; – величина раскрытия плечевой вытачки в линию низа – 12,2 см. Провести новые линии низа спинки и переда.	

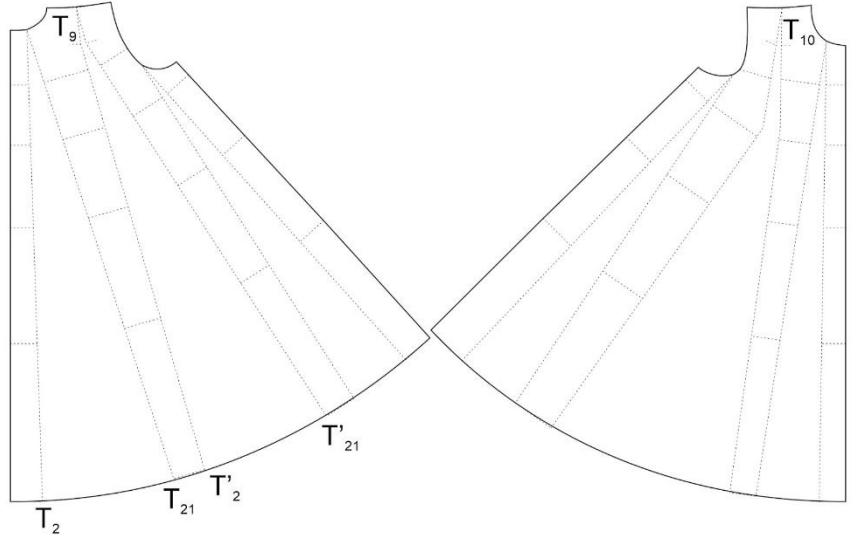
Продолжение таблицы 2.6

1	2	3
1.2.	1. Выполнить моделирование МК1_1: 1.1.Задать коническое разведение по линии горловины спинки: – линию горловины разделить на три равные части; – из т. Т₁ провести вертикаль в середину линии низа средней части спинки ⇒ т. Т₂; – величина разведения: в т. Т₁=0 см, в т. Т₂=12 см. 1.2.Задать коническое разведение по линии проймы спинки: – линию проймы разделить на три равные части; – из т. Т₃ провести вертикаль в середину линии низа боковой части спинки ⇒ т. Т₄; – величина разведения: в т. Т₃=0 см, в т. Т₄=12 см.	

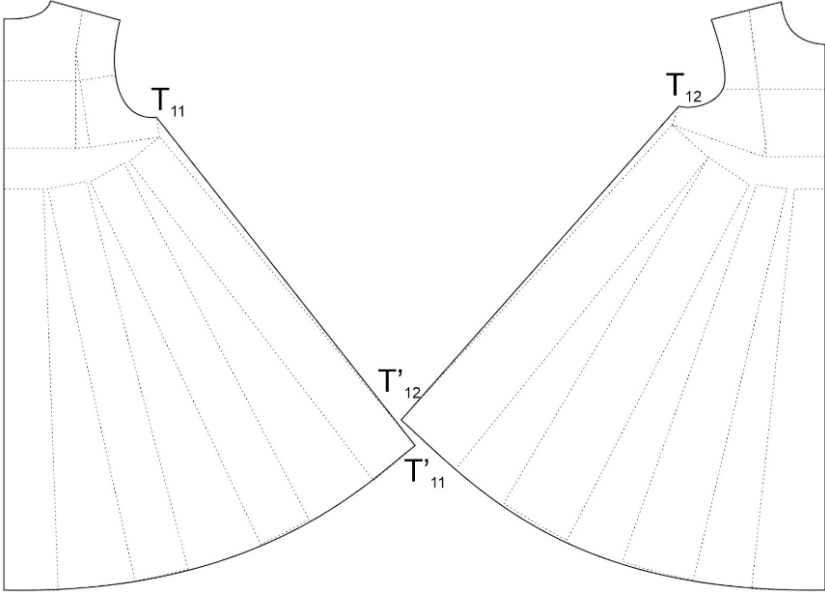
Продолжение таблицы 2.6

1	2	3
	1.3.Задать коническое разведение по линии горловины переда: – линию горловины разделить на три равные части; – из т. T_5 провести вертикаль в середину линии низа средней части переда $\Rightarrow$ т. T_6; – величина разведения: в т. $T_5=0$ см, в т. $T_6=12$ см. 1.4.Задать коническое разведение по линии проймы переда: – линию проймы разделить на три равные части; – из т. T_7 провести вертикаль в середину линии низа боковой части переда $\Rightarrow$ т. T_8; – величина разведения: в т. $T_7=0$ см, в т. $T_8=12$ см. 1.5.Провести новые линии низа спинки и переда.	

Продолжение таблицы 2.6

1	2	3
1.3.	1. Выполнить моделирование МК1_2: 1.1. Развести плечевую вытачку спинки в точке ее вершины (T_9). Величина разведения 1 см. 1.2. Развести нагрудную вытачку переда на уровне точки вершины плечевой вытачки спинки (T_{10}). Величина разведения 1 см. 1.3. Провести новую линию низа переда. Длина линии низа переда 87,4 см. 1.4. Задать длину линии низа спинки равную длине линии низа переда: –увеличить величину конического разведения из линии горловины спинки на 13 см по линии низа в т. T_2. Т.о. участки (T_2-T_{21}) и ($T'_2-T'_{21}$) будут равной длины, 25,2 см.	

Продолжение таблицы 2.6

1	2	3
1.4.	1. Выполнить моделирование МК1_1: 1.1. Разрезать спинку по линии груди $\Rightarrow$ верхняя и нижняя части спинки. 1.2. На нижней части спинки из середины линии низа провести вверх вертикаль в середину раскрытия плечевой вытачки по линии груди. 1.3. На нижней части спинки среднюю и боковую части разделить вдоль пополам $\Rightarrow$ нижняя часть спинки теперь состоит из 4-ех частей. 1.4. Задать величину конического разведения нижней части спинки по линии низа равной 38 см, распределив ее равномерно между 4-мя частями (по 12,7 см). При этом по средней линии спинки нижняя часть опустится на 6,9 см. 1.5. Разрезать перед по линии груди $\Rightarrow$ верхняя и нижняя части переда. 1.6. На нижней части переда из середины линии низа провести вверх вертикаль	

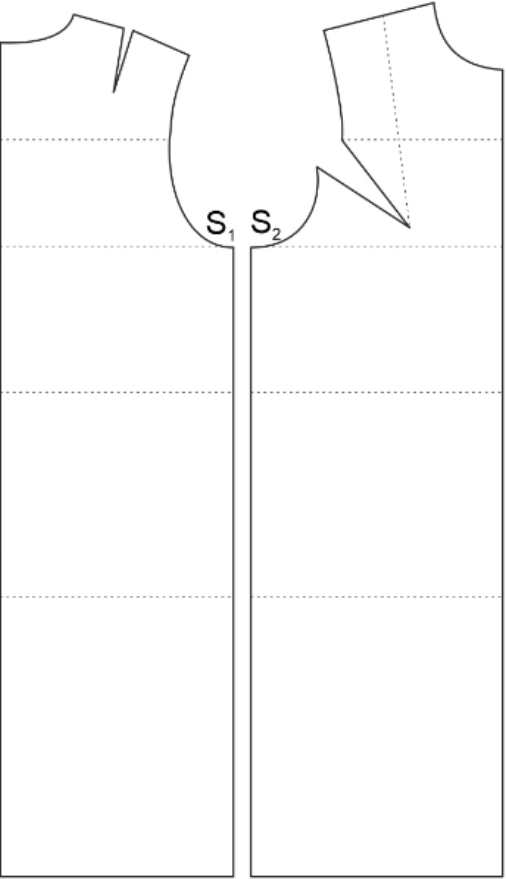
Окончание таблицы 2.6

1	2	3
	в середину раскрытия нагрудной вытачки по линии груди. 1.7. На нижней части переда среднюю и боковую части разделить вдоль пополам $\Rightarrow$ нижняя часть переда теперь состоит из 4-ех частей. 1.8. Задать величину конического разведения нижней части переда по линии низа равной 30 см, распределив ее равномерно между 4-мя частями (по 10 см). При этом по средней линии переда нижняя часть опустится на 5,5 см. 1.9. Спрямить боковую линию спинки и переда: соединить точки T_{11}, T'_{11} и T_{12}, T'_{12} отрезками соответственно. 1.10. Провести новые линии низа спинки и переда.	

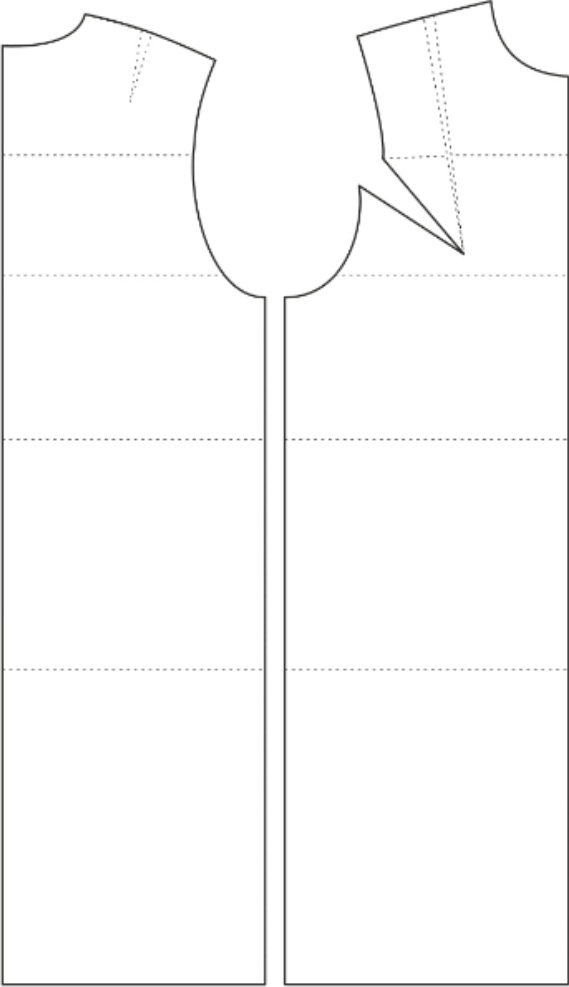
Создание формы «прямоугольник» разной степени объемности выполнено с применением различных приемов конструктивного моделирования базовой конструктивной основы лифа прилегающего силуэта. Так, форма прямого силуэта малого объема (МК2_1) и среднего объема (МК2_2) получены путем полного и частичного перевода нагрудной вытачки в линию проймы, спрямления боковой линии и средней линии спинки, удлинения деталей спинки и переда до линии колена. Моделирование формы прямого силуэта со степенью объемности больше среднего (МК2_3) выполнено на основе модельной конструкции формы «прямоугольник» среднего объема путем введения дополнительного продольного равномерного расширения деталей спинки и переда. Для получения формы прямого силуэта большого объема (МК2_4) произведено поэтапное моделирование базовой конструктивной основы лифа прилегающего силуэта, включающее спрямление боковой линии и средней линии спинки, удлинение деталей спинки и переда до линии колена, углубление линии проймы, продольное равномерное расширение по линии перед проймой на передаче, по линии ширины спинки, по боковой линии и средним линиям спинки и переда, удлинение линии плеча спинки и переда, перенос линии плеча и боковой линии в сторону переда.

Алгоритм построения формы прямого силуэта разных объемов приведен в таблице 2.7 и дополнен изображениями чертежей модельных конструкций проектируемых изделий.

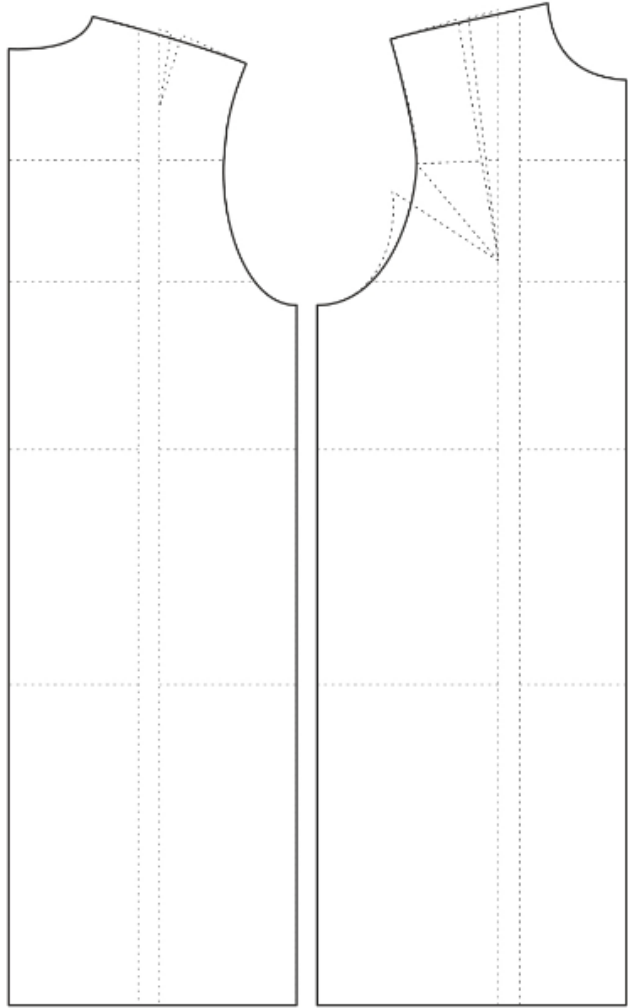
Таблица 2.7 – Алгоритм построения формы «прямоугольник» разных объемов

Вид изделия	Алгоритм построения	Изображение чертежа
1	2	3
2.1.	1. Перестроить БК: 1.1.Задать прибавку на свободу (к полуобхвату): по линии груди Пг=6 см. 1.2.Углубить линию горловины спинки и переда по средней линии на 1 см. 1.3.Расширить линию горловины спинки и переда по линии плеча на 1 см. 2. Выполнить моделирование БК: 2.1.Углубить пройму спинки и переда: Пспр=4,5 см. 2.2.Спрямить среднюю линию спинки. 2.3.Спрямить боковую линию спинки и переда: опустить вертикаль из точек S_1 и S_2 до линии бедер. 2.4.Удлинить детали спинки и переда до линии колена параллельным переносом линии низа на 30 см вниз от линии бедер. 2.5.Перевести нагрудную вытачку в линию проймы.	

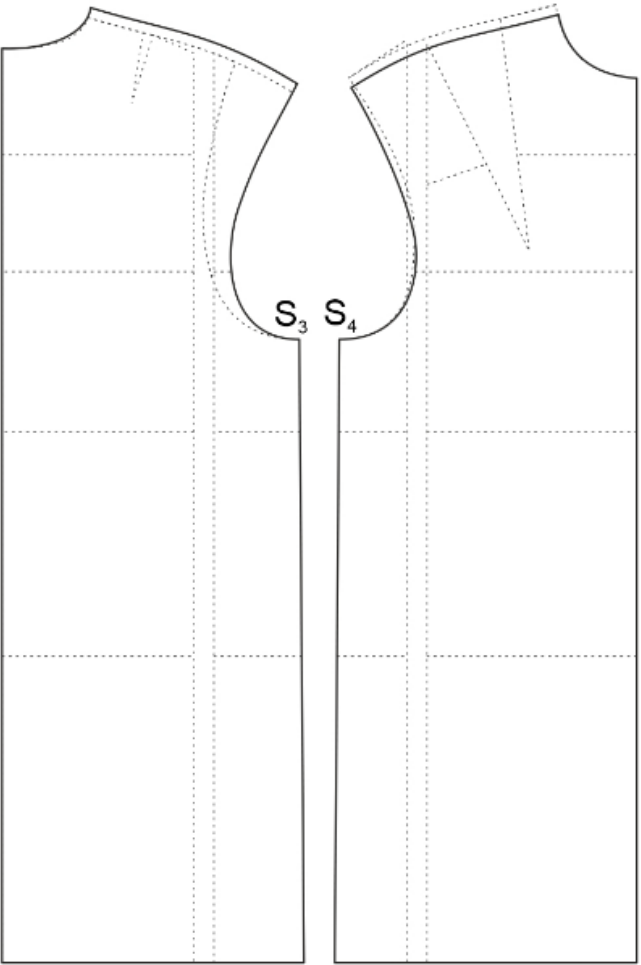
Продолжение таблицы 2.7

1	2	3
2.2.	1. Выполнить моделирование МК2_1: 1.1. Углубить пройму спинки и переда: Пспр=2 см. 1.2. Перевести часть раствора нагрудной вытачки в линию плеча: – раствор вытачки равен раствору плечевой вытачки спинки (1 см). 2. Провести новые линии плеча спинки и переда.	 The image shows two technical pattern pieces for a sleeveless garment, likely a bodice. The left piece represents the back and the right piece represents the front. Both pieces have a curved neckline and a straight vertical center line. Dashed lines indicate the original pattern lines, while solid lines show the modified pattern after adjustments. The back piece shows a shoulder dart being moved to the neckline, and the front piece shows a similar adjustment. The bust dart is also indicated by dashed lines.

Продолжение таблицы 2.7

1	2	3
2.3.	1. Выполнить моделирование МК2_2: 1.1.Расширить (продольно) детали спинки и переда параллельным разведением через вершины плечевой и нагрудной вытачек спинки и переда: величина расширения 2 см. 1.2.Провести новые линии плеча спинки и переда. 1.3.Провести новую линию проймы переда.	

Продолжение таблицы 2.7

1	2	3
2.4.	1. Перестроить БК: 1.1. Задать прибавку на свободу (к полуобхвату): – по линии груди Пг=4 см. 1.2. Углубить линию горловины спинки и переда по средней линии на 1 см. 1.3. Расширить линию горловины спинки и переда по линии плеча на 1 см. 2. Выполнить моделирование БК: 2.1. Спрямить среднюю линию спинки. 2.2. Углубить пройму спинки и переда: Пспр=11 см. 2.3. Спрямить боковую линию спинки и переда: опустить вертикаль из точек S_3 и S_4 до линии бедер. 2.4. Удлинить детали спинки и переда до линии колена параллельным переносом линии низа на 30 см вниз от линии бедер. 2.5. Расширить (продольно) спинку и перед: – по средней линии: на 0,5 см; – по линии перед проймой переда: на 2 см; – по линии ширины спинки: на 2 см;	

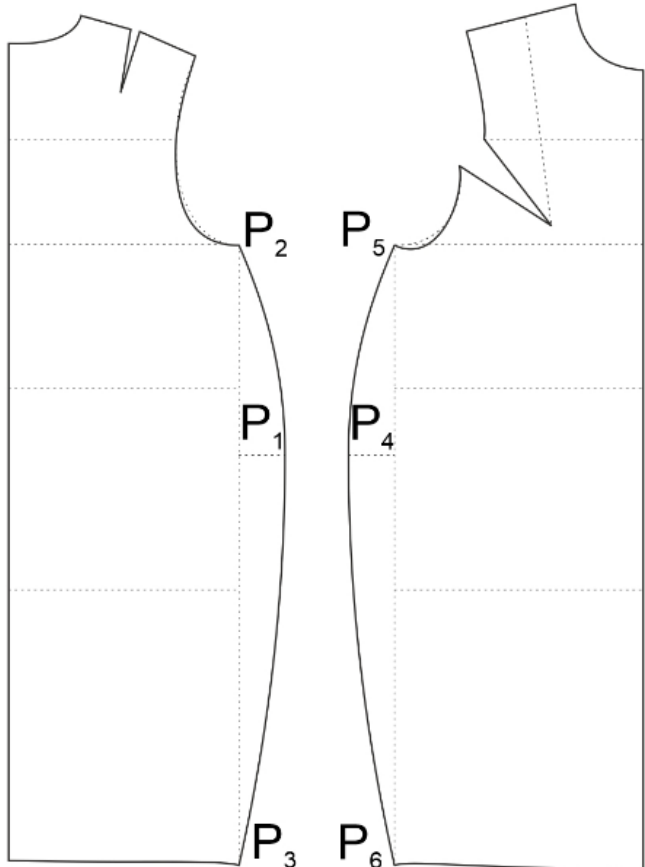
Окончание таблицы 2.7

1	2	3
	– по боковой линии: на 1,5 см. 2.6. Построить модельную линию плеча спинки и переда: – продлить линию плеча наружу на 8,6 см (новая длина линии плеча 21,6 см); – задать глубину понижения крайней точки линии плеча равной 4,2 см $\Rightarrow$ новая (модельная) крайняя точка плеча; – провести новую линию плеча: соединить плавной линией точку основания шеи сбоку и новую крайнюю точку плеча. 2.7. Перенести (параллельно) линию плеча спинки на 1 см в сторону переда. 2.8. Опустить (параллельно) линию плеча переда на 1 см. 2.9. Провести новые линии горловины спинки и переда. 2.10. Перенести (параллельно) боковую линию спинки на 1 см в сторону переда. 2.11. Перенести (параллельно) боковую линию переда на 1 см в сторону середины переда. 2.12. Провести новые линии проймы спинки и переда: соединить плавными линиями новую крайнюю точку плеча и точку проймы.	

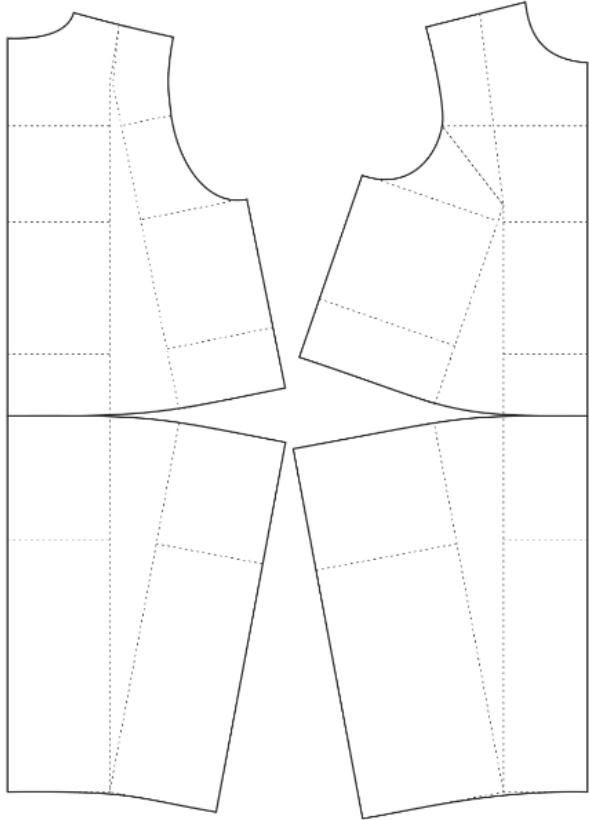
В отличие от моделей трапециевидного и прямого силуэтов, которые были получены путем конструктивного моделирования базовой конструктивной основы лифа прилегающего силуэта, для моделирования изделий 3.1.-3.4. базовой конструктивной основой послужили модельные конструкции прямого силуэта малого (МК2_1) и больше среднего (МК2_3) объема. Создание формы «овал» степени объемности больше среднего (МК3_1) выполнено путем расширения деталей стана на участке между талиевым и тазовым (бедренным) конструктивными поясами, а дополнительное коническое разведение из линии низа в линию плеча, заужение линии плеча и детали переда по линии низа позволило получить модель овального силуэта большого объема (МК3_4). Другая модель овального силуэта среднего объема (МК3_2) получена путем перевода вытачек в линию низа, поперечного членения деталей стана на участке между талиевым и тазовым (бедренным) конструктивными поясами и последующего конического перевода раствора вытачек нижних частей деталей стана из линии низа в линию членения. Моделирование формы «овал» малой степени объемности (МК3_3) выполнено на основе модельной конструкции формы «прямоугольник» со степенью объемности больше среднего (МК2_3) путем введения вытачек от линии низа в места продольного равномерного расширения деталей стана, а также заужения боковых срезов по линии низа.

В таблице 2.8 приведен алгоритм построения формы овального силуэта разных объемов и дополнен изображениями чертежей модельных конструкций проектируемых изделий.

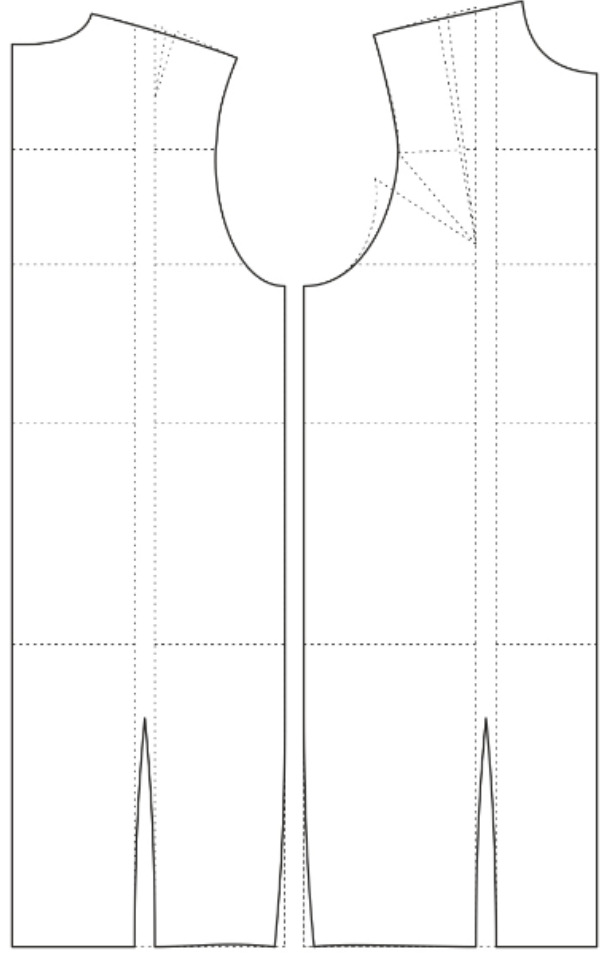
Таблица 2.8 – Алгоритм построения формы «овал» разных объемов

Вид изделия	Алгоритм построения	Изображение чертежа
1	2	3
3.1.	1. Выполнить моделирование МК2_1: 1.1. Построить модельную линию бокового среза спинки и переда: – расширить (продольно) деталь на 5 см на уровне $\frac{1}{3}$ длины участка от линии талии до линии бедер (7,3 см) $\Rightarrow$ т. P_1 и P_4; – провести новую линию бокового среза, соединяя плавной линией точки проймы, расширения бокового среза и линии низа: P_2, P_1, P_3 – спинка; P_5, P_4, P_6 – перед. 1.2. Выполнить сопряжение боковых срезов спинки и переда по линии проймы. 1.3. Провести новые линии низа: – по средней линии спинки: поднять на 0,5 см; – по средней линии переда: опустить на 0,5 см; – по боковым срезам: выполнить сопряжение.	

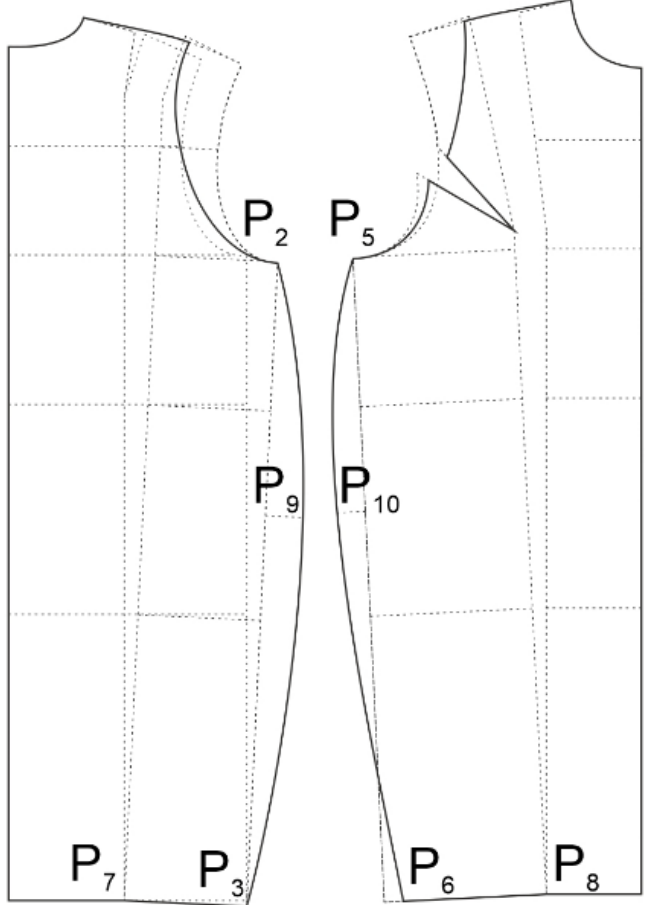
Продолжение таблицы 2.8

1	2	3
3.2.	1. Выполнить моделирование МК2_1: 1.1.Разрезать детали спинки и переда на верхнюю и нижнюю части на уровне $\frac{1}{3}$ длины участка от линии талии до линии бедер (7,3 см). 1.2.Перевести плечевую и нагрудную вытачки в линии членений спинки и переда соответственно. Величина разведения спинки равна величине полученной в результате перевода нагрудной вытачки в линию членения переда (8,3 см). 1.3.Выполнить коническое разведение нижних частей спинки и переда от линии низа в линии членений. Величина разведения деталей спинки равна величине разведения деталей переда (8,3 см). 1.4.Провести новые линии нижних срезов верхних частей спинки и переда. 1.5.Провести новые линии верхних и нижних срезов нижних частей спинки и переда.	

Продолжение таблицы 2.8

1	2	3
3.3.	1. Выполнить моделирование МК2_3: 1.1. Построить вытачки из линии низа деталей спинки и переда: – задать уровень вершины вытачек: провести горизонталь на уровне 7,3 см ниже линии бедер; – задать величину раствора вытачки равной 2 см (величина продольного разведения МК2_3); – соединить выпукло-вогнутыми линиями точки основания и вершины вытачек. 1.2. Заузить детали спинки и переда: – по линии низа – величина заужения равна 1 см; – по боковому срезу – на уровне 7,3 см ниже линии бедер величина заужения равна 0 см.	

Окончание таблицы 2.8

1	2	3
3.4.	1. Выполнить моделирование МК2_1: 1.1.Выполнить коническое разведение деталей спинки и переда от линии низа в линию плеча: – провести вертикали из вершин плечевой и нагрудной вытачек в линию низа $\Rightarrow$ точки пересечения P_7 и P_8; – из т.P_7 и P_8 выполнить коническое разведение на величину 5,3 см. 1.2.Выполнить заужение линии плеча спинки и переда на 6 см. 1.3.Провести новую линию проймы. 1.4.Построить модельную линию бокового среза спинки и переда: – расширить (продольно) деталь на уровне $\frac{1}{2}$ длины участка от линии талии до линии бедер (11 см): – на спинке – на 4 см $\Rightarrow$ т. P_9; – на переда – на 3 см $\Rightarrow$ т. P_{10}; – заузить деталь переда по линии низа на 2 см; – провести новую линию бокового среза, соединяя плавной линией точки проймы, расширения бокового среза и линии низа: P_2, P_9, P_3 – спинка; P_5, P_{10}, P_6 – перед. 1.5.Выполнить сопряжение боковых срезов спинки и переда по линии проймы. 1.6.Провести новые линии низа спинки и переда.	

Согласно исследованиям Коробцевой Н.А. [158] представленные выше модели женских платьев являются визуально различными для восприятия.

В импрессивном подходе дифференциальный порог зрительного восприятия изменений конструктивных параметров предлагается рассматривать как элементарную единицу впечатления и основания для определения шага изменения конкретного конструктивного параметра в унифицированном ряду. Элементарная единица впечатления может выступать в качестве критерия унификации конструктивных элементов любого ассортимента швейных изделий.

При определении элементарной единицы впечатления происходит представление порога в процентах к длине рассматриваемой линии, либо в относительных единицах в виде безразмерных коэффициентов при величинах конструктивного участка.

Исследование [158] определяет, что изменения различных конструктивных параметров неоднозначно воспринимаются зрительной системой. Наиболее значимыми для зрительного восприятия являются изменения конструкции по длине и ширине горловины переда, наклону и расширению плечевого шва, ширине манжеты или расположению конструктивно-декоративных линий низа рукава. Зрительное восприятие улавливает небольшие отличия в изменениях высоты воротника и изменении его ширины. Низкая чувствительность к конструктивным изменениям наблюдается по точкам уровня кокетки, низа рукава и низа изделия. Различимость к изменению ширины изделия можно считать средней: 3 мм при 50% уровне различения, 9 мм при 96% уровне различения

Как отмечает Коробцева Н.А. при разработке новых моделей женского легкого платья следует учитывать высокий уровень зрительного различения, который обеспечивается следующими изменениями: не менее $L = 3,6$ мм (13,7 %) по глубине горловины полочки; $L = 3,74$ мм (14,39 %)

по ширине горловины полочки; по ширине плечевого ската $L = 3,7$ мм (3, 15 %); на $L = 4,141$ мм (2,72%) по положению линии горизонтального членения на уровне груди (уровня кокетки).

В таблицах 2.9 и 2.10 показаны изменения конструктивных параметров по ширине плечевого ската и ширине линии низа в моделях семейства МК1, МК2 и МК3, которые подтверждают визуальное различие спроектированных форм.

Таблица 2.9 – Изменение ширин плечевого ската базовых конструктивных основ изделий прямого, овального и трапециевидного силуэтов по моделям семейств МК1, МК2 и МК3

Семейство моделей	L_1	ΔL	L_2	ΔL	L_3	ΔL	L_4
1	2	3	4	5	6	7	8
МК1	12,2	0	12,2	0	12,2	0	12,2
МК2	12,2	0,9	13,1	2	15,1	6,5	21,6
МК3	12,2	0	12,2	2,9	15,1	-3,7	11,4

Таблица 2.10– Изменение ширин линий низа базовых конструктивных основ изделий прямого, овального и трапециевидного силуэтов по моделям семейств МК1, МК2 и МК3

Семейство моделей	L_1	ΔL	L_2	ΔL	L_3	ΔL	L_4
1	2	3	4	5	6	7	8
МК1	86,11	48,33	134,44	40,12	174,56	21,49	153,07
МК2	52,08	0,07	52,15	3,99	56,14	2,87	59,01
МК3	52,13	-0,24	51,89	-1,79	50,1	-0,02	50,08

В рамках данного исследования получены математические модели станов женских платьев разных силуэтов и разных объемов посредством математического описания контуров плоских разверток деталей изделий семейств моделей МК1, МК2 и МК3 для выявления зависимости изменения параметров формы от параметров плоских разверток деталей [159].

Для математического описания контуров деталей станков моделей из семейства МК1, МК2 и МК3 используются уравнения прямых и кривых второго порядка. На участке контура определяются координаты пяти точек $(x_1, y_1), \dots, (x_5, y_5)$. Начало координат выбирается на контуре детали на пересечении линии талии и линии середины детали. Уравнение кривой второго порядка вычисляется в виде:

$$ax^2 + bxy + cy^2 + dx + ey = 1, \quad (2.1)$$

Применяя координаты пяти точек контура детали, получается система пяти линейных уравнений с пятью неизвестными. Решая систему уравнений, определяются коэффициенты a, b, c, d, e . Расчеты производятся с помощью математических пакетов MAPLE. Пример расчета аппроксимации контуров детали приведен на рис. 2.18.

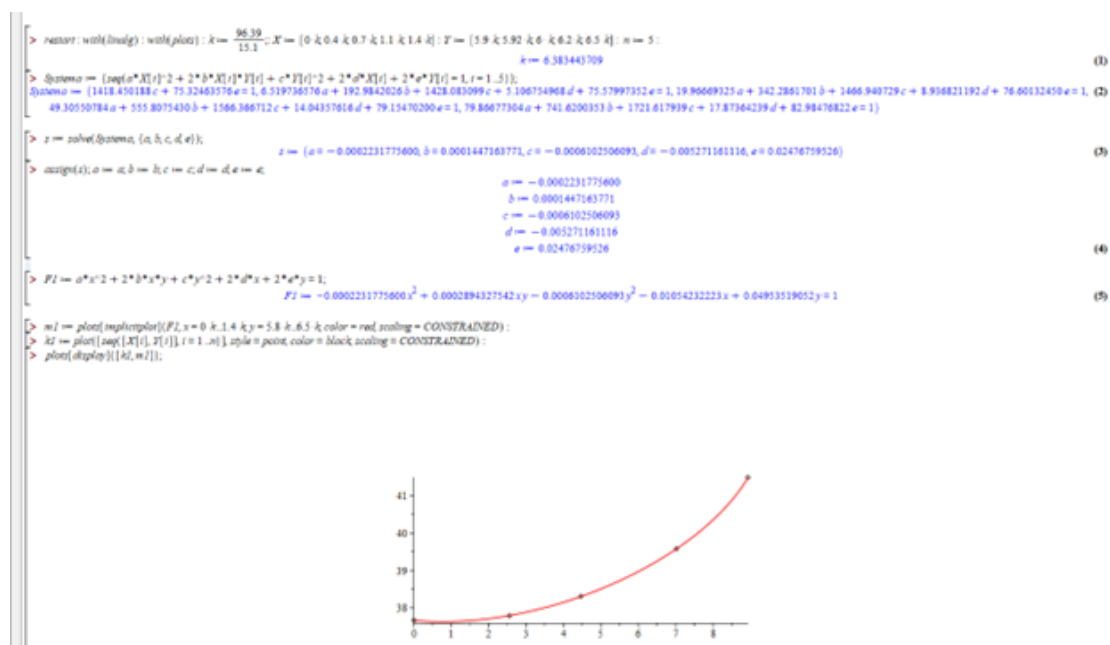


Рисунок 2.18 – Пример расчета аппроксимации участка контура детали

В Приложении Г представлены графические интерпретации контуров деталей каждой модели семейства моделей МК1, МК2 и МК3 и их математические описания.

На основе полученных математических описаний рассчитаны зависимости между изменениями положений точек контуров плоских разверток деталей станков моделей трапециевидного силуэта и выявлена

зависимость изменения положения всех точек контура при изменении положения одной из них во время перехода из одного объема в другой – вычислены значения параметров для получения различных размеров объемов формы от формы А до формы В, не ограничиваясь рассмотренными тремя величинами объемов формы. То есть разработана схема «градации формы» контуров плоских разверток деталей станов трапециевидного силуэта, где форме А будет соответствовать минимальная величина объема формы (соответствует объему модели МК1_1) с одним набором координат крайних точек контура при начальном значении параметра, а форме В – максимальная величина объема (соответствует объему модели МК1_3) с другим набором координат крайних точек контура при крайнем значении параметра.

При решении задачи «градации формы» разработаны параметризованные модели разверток деталей стана. Для получения параметризованных моделей решена задача интерполяции радиус-вектора точки. Суть задачи заключается в том, что если любая точка контура, например точка p , описана радиус вектором r в системе координат x - y , и находится в первоначальном состоянии – в форме А (точка p_1 на рис. 2.19), затем переходит во второе состояние – в форме Б (точка p_2 на рис. 2.19), и затем наконец-то переходит в третье состояние – в форме В (точка p_3 на рис. 2.19). При этом каждое состояние точки p описывается соответствующим радиус-вектором r (вектора r_1, r_2, r_3 на рис. 2.19).

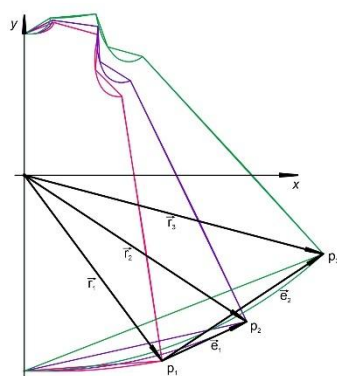


Рисунок 2.19 – Схема точек

И определен вектор перемещений: из первого состояния во второе (вектор e_1 на рис. 2.19) и из первого состояния в третье (вектор e_2 на рис. 2.19). Тогда задачу можно сформулировать как построение интерполянта вектор-функции, которая гарантированно оказывается в каждом из трех положений точек p . В векторной форме интерполянт вектор-функции будет выглядеть в следующем виде:

$$\vec{r}(t) = 2 * (t - 0.5) * t * \vec{e}_2 + 4 * (1 - t) * t * \vec{e}_1 + \vec{r}_1, \quad (2.2)$$

здесь t – параметр вектор функции.

Введенный параметр вектор-функции t определен в интервале $[0; 1]$. Где значение 0 – характеризует начальное состояние (точка p_1), а значение 1 – характеризует третье состояние (точка p_3).

Полученная вектор-функция применяется ко всем точкам контура развертки детали и таким образом позволяет менять силуэтно-объемную форму изделия. На рис. 2.20 и 2.21 приведены полученные точки для различных значений параметра t контуров деталей спинки и переда соответственно.

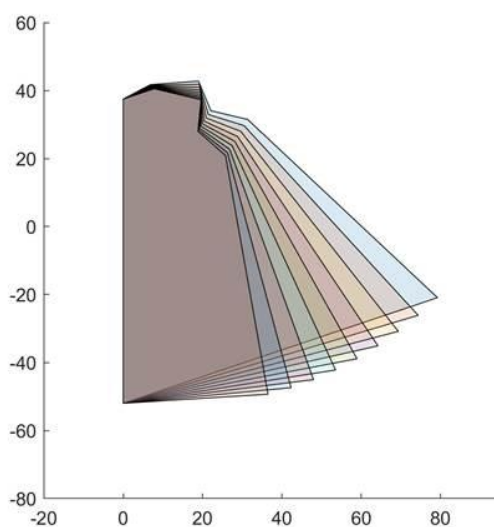


Рисунок 2.20 – Контурсы детали спинки при различных значениях параметра t

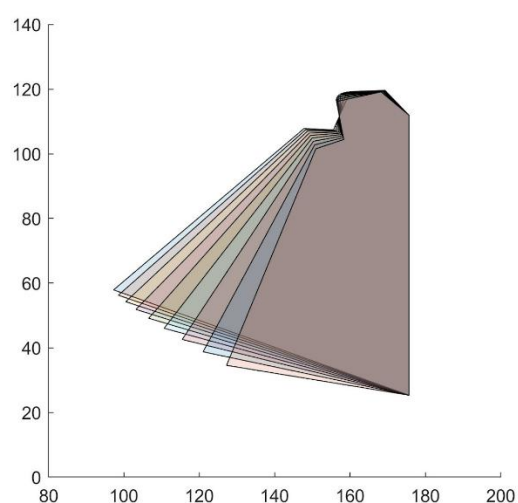


Рисунок 2.21 – Контурсы детали переда при различных значениях параметра t

Чтобы оценить влияние параметра на интерполянт вектор-функции сделаем оценку на единичное изменение. Для нахождения длины кривой линии низа детали определим ее векторный вид:

$$\vec{s}(t) = \vec{r}_6(t) - \vec{r}_7(t), \quad (2.3)$$

где точка 7 – неподвижная точка линии низа на средней линии детали, точка 6 – крайняя точка линии низа первоначального состояния (формы А).

Затем определим производную от найденной вектор-функции:

$$\vec{s}'(t) = (4t - 1)\vec{e}_2 + 4(1 - 2t)\vec{e}_1. \quad (2.4)$$

Тогда длина кривой линии низа может быть найдена как:

$$S = \int_0^T |\vec{s}'(t)| dt, \quad (2.5)$$

здесь Т – значение параметра, определяющее часть кривой.

Представленный интеграл был проанализирован численным способом. Для этого параметр Т варьировался с равномерным шагом 0,02. И оценивалось приращение удлинения. Полученный график представлен на рис. 2.22.

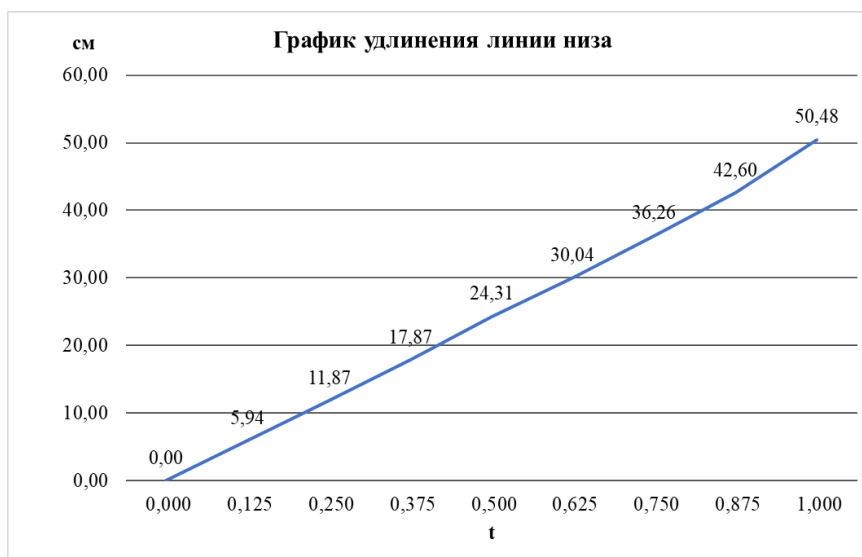


Рисунок 2.22 – График удлинения линии низа

Таким образом при значении параметра $t=0,02$ линия низа изменяется на 1 см. В таблицах 2.11 и 2.12 представлены значения координат точек контуров деталей спинки и переда соответственно при различном значении t .

Таблица 2.11 – Значения координат крайних точек контуров детали спинки от формы А до формы В

Значение t	Координаты т.1	Координаты т.2	Координаты т.3	Координаты т.4	Координаты т.5	Координаты т.6	Координаты т.7	Длина линии низа, см	Изменение длины линии низа от начальной формы, см
0	(0; 37.5)	(7.8; 40.53)	(19.63;37.27)	(18.86;28.01)	(25.81;20.88)	(36.54; -49.32)	(0; -52)	36.72	0
0,125	(0; 37.5)	(7.73; 40.68)	(19.64;37.72)	(19.05;28.39)	(26.35;21.72)	(42.35; -47.41)	(0; -52)	42.66	5.94
0,25	(0; 37.5)	(7.65; 40.83)	(19.63;38.23)	(19.31;28.88)	(26.86;22.71)	(48.03; -45.04)	(0; -52)	48.59	11.87
0,375	(0; 37.5)	(7.55; 40.98)	(19.59;38.82)	(19.63;29.48)	(27.47;23.83)	(53.57; -42.19)	(0; -52)	54.59	17.87
0,5	(0; 37.5)	(7.45; 41.14)	(19.53;39.48)	(20.01;30.19)	(28.14;25.09)	(58.99; -38.88)	(0; -52)	61.03	24.31
0,625	(0; 37.5)	(7.32; 41.29)	(19.43;40.20)	(20.44;30.99)	(28.86;26.48)	(64.26; -35.09)	(0; -52)	66.76	30.04
0,75	(0; 37.5)	(7.19; 41.44)	(19.31;40.99)	(20.94;31.91)	(29.64;28.02)	(69.40; -30.84)	(0; -52)	72.98	36.26
0,875	(0; 37.5)	(7.04; 41.59)	(19.16;41.85)	(21.49;32.93)	(30.48;29.69)	(74.41; -26.11)	(0; -52)	79.32	42.6
1	(0; 37.5)	(6.88; 41.74)	(18.99;42.78)	(22.11;34.06)	(31.38; 31.5)	(79.29; -20.92)	(0; -52)	87.2	50.48

Таблица 2.12 – Значения координат крайних точек контуров детали переда от формы А до формы В

Значение t	Координаты т.1	Координаты т.2	Координаты т.3	Координаты т.4	Координаты т.5	Координаты т.6	Координаты т.7	Длина линии низа, см	Изменение длины линии низа от начальной формы, см
0	(175.65;111.93)	(168.25;119.12)	(156.42;116.15)	(158.35; 104.42)	(150.93; 101.54)	(127.26; 34.57)	(175.65; 25.33)	49,67	0
0,125	(175.65;111.93)	(168.56;119.28)	(156.35;116.79)	(158.16;104.99)	(150.62; 102.76)	(121.02; 38.75)	(175.65; 25.33)	56,6	6,93
0,25	(175.65;111.93)	(168.81;119.41)	(156.43;117.35)	(157.93;105.51)	(150.29; 103.87)	(115.51; 42.58)	(175.65; 25.33)	62,88	13,21
0,375	(175.65;111.93)	(169.01;119.50)	(156.65;117.84)	(157.65;105.97)	(149.93; 104.84)	(110.69; 46.04)	(175.65; 25.33)	68,57	18,9
0,5	(175.65;111.93)	(169.15;119.58)	(157.03;118.26)	(157.33;106.37)	(149.55; 105.69)	(106.59; 49.14)	(175.65; 25.33)	74,78	25,11
0,625	(175.65;111.93)	(169.24;119.62)	(157.55;118.60)	(156.96;106.71)	(149.15; 106.41)	(103.19; 51.87)	(175.65; 25.33)	78,86	29,19
0,75	(175.65;111.93)	(169.26;119.63)	(158.21;118.87)	(156.56;106.99)	(148.73; 107.01)	(100.51; 54.25)	(175.65; 25.33)	82,24	32,57
0,875	(175.65;111.93)	(169.24;119.62)	(159.03;119.07)	(156.11;107.21)	(148.28; 107.47)	(98.54; 56.26)	(175.65; 25.33)	84,84	35,17
1	(175.65;111.93)	(169.15;119.58)	(156,99;119,19)	(155.61;107.38)	(147.82; 107.81)	(97.28; 57.91)	(175.65; 25.33)	87,36	37,69

Предложенная «градация формы» контуров плоских разверток деталей станов трапецевидного силуэта [127] осуществлена на примере моделей МК1_1, МК1_2 и МК1_3 (рис. 2.23, 2.24), так как плоские развертки деталей данных моделей получены путем применения единого приема конструктивного моделирования.

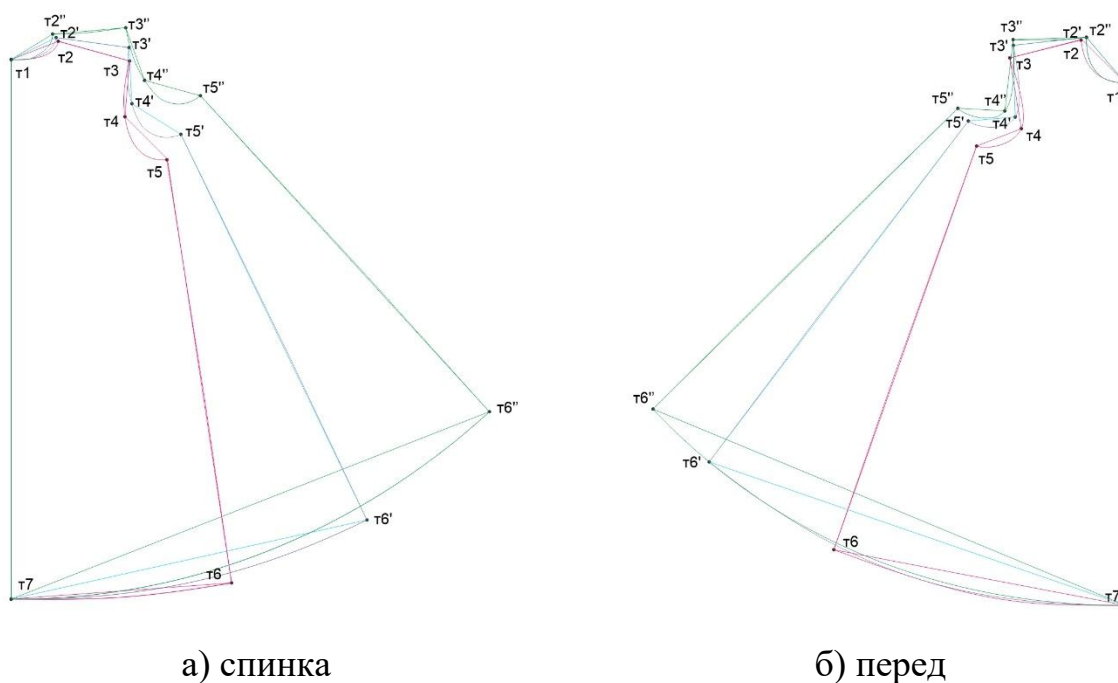


Рисунок 2.23 – Схема точек для значений параметра t равного 0; 0.5; 1

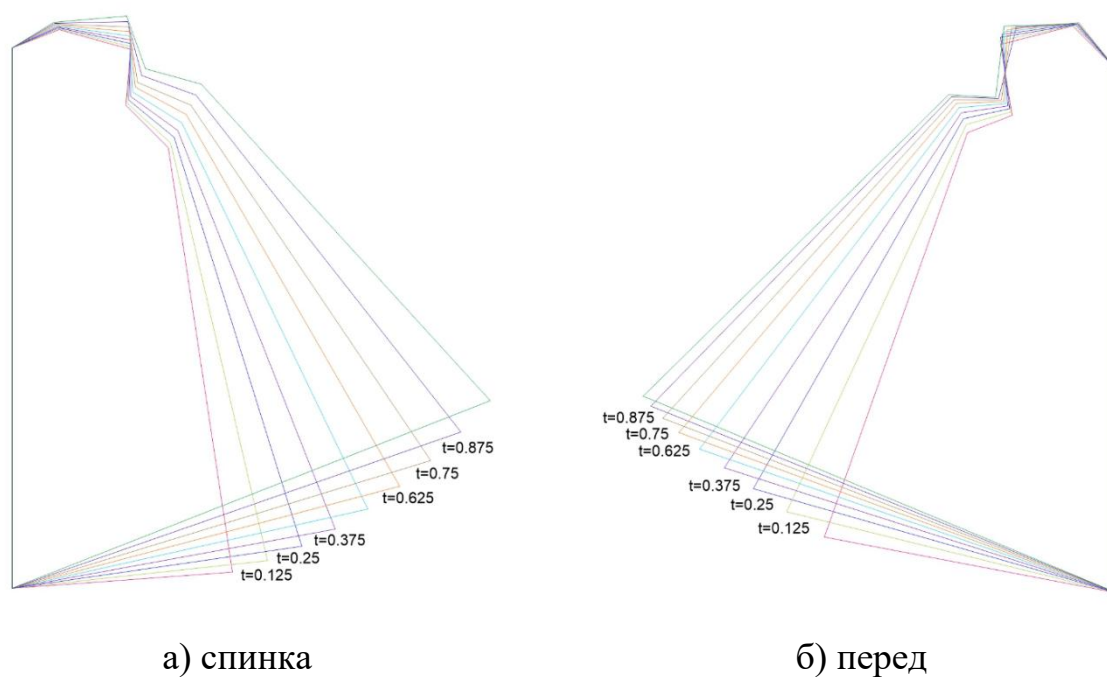


Рисунок 2.24 – Схема точек для различных значений параметра t

В рассмотренном выше случае «градация формы» предложена для семейства моделей МК1_1, МК1_2 и МК1_3, однако таким же образом возможно выполнить расчет для получения «градации формы» модели МК1_4 и каждой модели семейства моделей МК2 и МК3 в отдельности.

2.3. Внешняя форма моделей женских платьев прямого, трапециевидного и овального силуэтов разных объемных форм в цифровой и реальной средах

На основе представленных выше плоских разверток деталей изготовлено 12 образцов изделий, внешняя форма которых является одним из объектов исследования.

Образцы выполнены из макетной бязи. Свойства выбранного материала приведены в таблице 2.13 и установлены с применением лабораторного оборудования: разрывная машина Shimadzu AG-Xplus, аналитические весы ANDGR-300, цифровой толщиномер для ткани ASTM D1777.

Таблица 2.13 – Свойства материала

Показатель	Величина
1	2
Волокнистый состав, %	ХВ – 100
Поверхностная плотность, г/м ²	138
Толщина, мм	0,35
Растяжимость, %:	
по утку	13,5999
по основе	16,4331
по косой	37,8056
Нагрузка разрывная, Н	
по утку	372,177
по основе	394,489
по косой	223,764

Окончание таблицы 2.13

1	2
Удельная разрывная нагрузка, Н*г/м по утку по основе по косой	53,93 57,172 32,429
Драпируемость	Удовлетворительная К=60
Усадка, см: по утку по основе	5 3,5

Фотоизображения примерки материальных образцов изделий во фронтальной и сагиттальной плоскостях выполнены на цифровой фотоаппарат Fujifilm XH-1 и масштабированы в программе Adobe Illustrator. Примерка реальных образцов изделий на манекене «В» представлена на рис. 2.28-2.30, а дополнительная их примерка на манекенах «Б» и «А» представлена в Приложении Д:

- примерка изделий трапециевидного силуэта на манекен «В»:



Рисунок 2.28 а – Фотоизображения материального образца МК1_1 силуэта «трапеция» малого объема на манекен «В»



Рисунок 2.28 б – Фотоизображения материального образца МК1_2 силуэта «трапеция» среднего объема на манекен «В»



Рисунок 2.28 в – Фотоизображения материального образца МК1_3 силуэта «трапеция» большого объема на манекен «В»



Рисунок 2.28 г – Фотоизображения материального образца МК1_4 силуэта «трапеция» объема больше среднего на манекен «В»

– примерка изделий прямого силуэта на манекен «В»:



Рисунок 2.29 а – Фотоизображения материального образца МК2_1 прямого силуэта малого объема на манекен «В»



Рисунок 2. 29 б – Фотоизображения материального образца МК2_2 прямого силуэта среднего объема на манекен «В»



Рисунок 2. 29 в – Фотоизображения материального образца МК2_3 прямого силуэта объема больше среднего на манекен «В»



Рисунок 2. 29 г – Фотоизображения материального образца МК2_4 прямого силуэта большого объема на манекен «В»

– примерка изделий овального силуэта на манекен «В»:



Рисунок 2.30 а – Фотоизображения материального образца МК3_1 овального силуэта объема больше среднего на манекен «В»



Рисунок 2.30 б – Фотоизображения материального образца МК3_2 овального силуэта среднего объема на манекен «В»



Рисунок 2.30 в – Фотоизображения материального образца МК3_3
овального силуэта малого объема на манекен «В»



Рисунок 2.30 г – Фотоизображения материального образца МК3_4
овального силуэта большого объема на манекен «В»

Полученные в ходе реальной примерки на манекен «В» фотоизображения внешней формы изделий трапецевидного силуэта разных объемных форм свидетельствуют о том, что заданные техническим заданием характеристики внешней формы проектируемых изделий воспроизведены в полном объеме. Однако выявлен дефект моделирования, проявляющийся в виде отставания изделия от поверхности плеча в конечной точке плечевого среза на моделях 1-3 семейства МК1 (рис. 2.28, а-в), и присутствует нарушение передне-заднего баланса (провисание линии низа спинки) у модели МК1_4 (рис. 2.28, г).

Внешняя форма реальных образцов изделий прямого силуэта малого (МК2_1, рис. 2.29, а) и среднего (МК2_2, рис. 2.29, б) объемов, надетых на манекен «В» в условиях реальной примерки, соответствует заданным техническим заданием характеристикам внешней формы проектируемых изделий, однако внешняя форма реальных образцов изделий прямого силуэта объемов больше среднего в моделях МК2_3 и МК2_4 (рис. 2.29, в-г) имеет такие несоответствия, как в сагиттальных плоскостях границы формы подобны геометрической фигуре-аналогу «трапеция», а во фронтальных – перевернутой геометрической фигуре-аналогу «трапеция». Также выявлены дефекты моделирования в виде угловых заломов на передне у моделей малого и среднего объемов МК2_1 и МК2_2 (рис. 2.29, а-б) и нарушения бокового баланса в моделях МК2_3 и МК2_4 (рис. 2.29, в-г).

Фотоизображения внешней формы модели МК3_2. (рис. 2.30, б) овального силуэта среднего объема в ходе реальной примерки на манекене «В» во фронтальных и сагиттальных плоскостях передают абсолютно точное воспроизведение заданных техническим заданием характеристик внешней формы разрабатываемого изделия. Фотоизображения внешней формы других реальных образцов семейства моделей МК3 только во фронтальных плоскостях передают заданный техническим заданием и конструктивным решением овальный силуэт разного объема изделий, а в сагиттальных плоскостях наблюдается трапециевидный силуэт изделий (рис. 2.30, а, в, г), причем у моделей МК3_1 и МК3_4 отсутствует передача разной степени объемности, а степень объема формы посредством зрительного восприятия считается как малая. Также у модели МК3_3 наблюдается нарушение передне-заднего баланса.

Согласно задачам исследования на следующем этапе выполнена визуализация 12 объемно-пространственных форм, полученных на основе разработанных ранее плоских разверток деталей, в цифровой среде путем создания цифровых двойников в программе Clo3D, т.к. аватар данной

программы определен в качестве субъекта проектирования цифровых моделей одежды.

Так как свойства материалов имеют большое значение в формообразовании изделий, необходимо задать цифровому образцу материалов свойства, адекватные физическому аналогу.

Программа Clo3D имеет редактор свойств материала (Property Editor), содержащий расширенную информацию о цифровом образце материала (общая информация, данные о фактуре, физические свойства). Раздел «Физические свойства» редактора свойств позволяет не только просмотреть заданные по умолчанию значения параметров выбранного материала, но и при необходимости произвести их настройку в соответствии с решаемыми задачами. В разделе доступны такие параметры материала, как растяжимость по утку и основе, растяжимость по косой, сопротивление сгибанию по нити утка, основы и по косой, коэффициент деформации нитей основы и утка, коэффициент деформации нитей по косой вправо и влево, коэффициент деформации упругости нитей основы и утка, коэффициент деформации упругости нитей по косой вправо и влево, усадочность материала, плотность и сила трения (рис. 2.31).

Цифровой образец материала, представленный на рис. 2.31, выбран в соответствии с материалом реальных образцов из библиотеки программы Clo3D и представляет собой материал «Muslin». Свойства цифрового материала приведены в таблице 2.14 и на рис. 2.32.

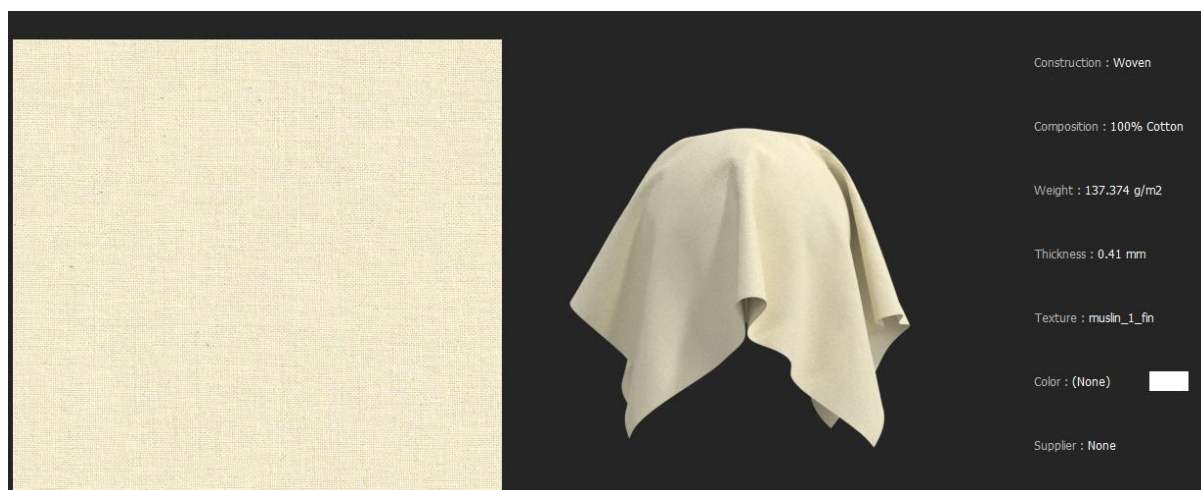


Рисунок 2.31 – Цифровой образец материала (макетная бязь) библиотеки программы Clo3D

Таблица 2.14 –Свойства цифрового двойника текстильного материала

Показатель	Величина
Волокнистый состав, %	ХВ – 100
Поверхностная плотность (Density), г/м ²	137,37
Толщина, мм	0,41
Растяжимость (Stretch), г/с ² :	
по утку (weft)	58
по основе (warp)	56
по косой (shear)	18
Коэффициент деформации нитей (Bending), г*мм ² /с ² /рад:	
по основе	45
по утку	48
по косой	47
Коэффициент деформации упругости нитей (Buckling), [0~1]:	
по основе	0,3
по утку	0,3
по косой	0,3
Сила трения (Friction), [0~1]	0,03

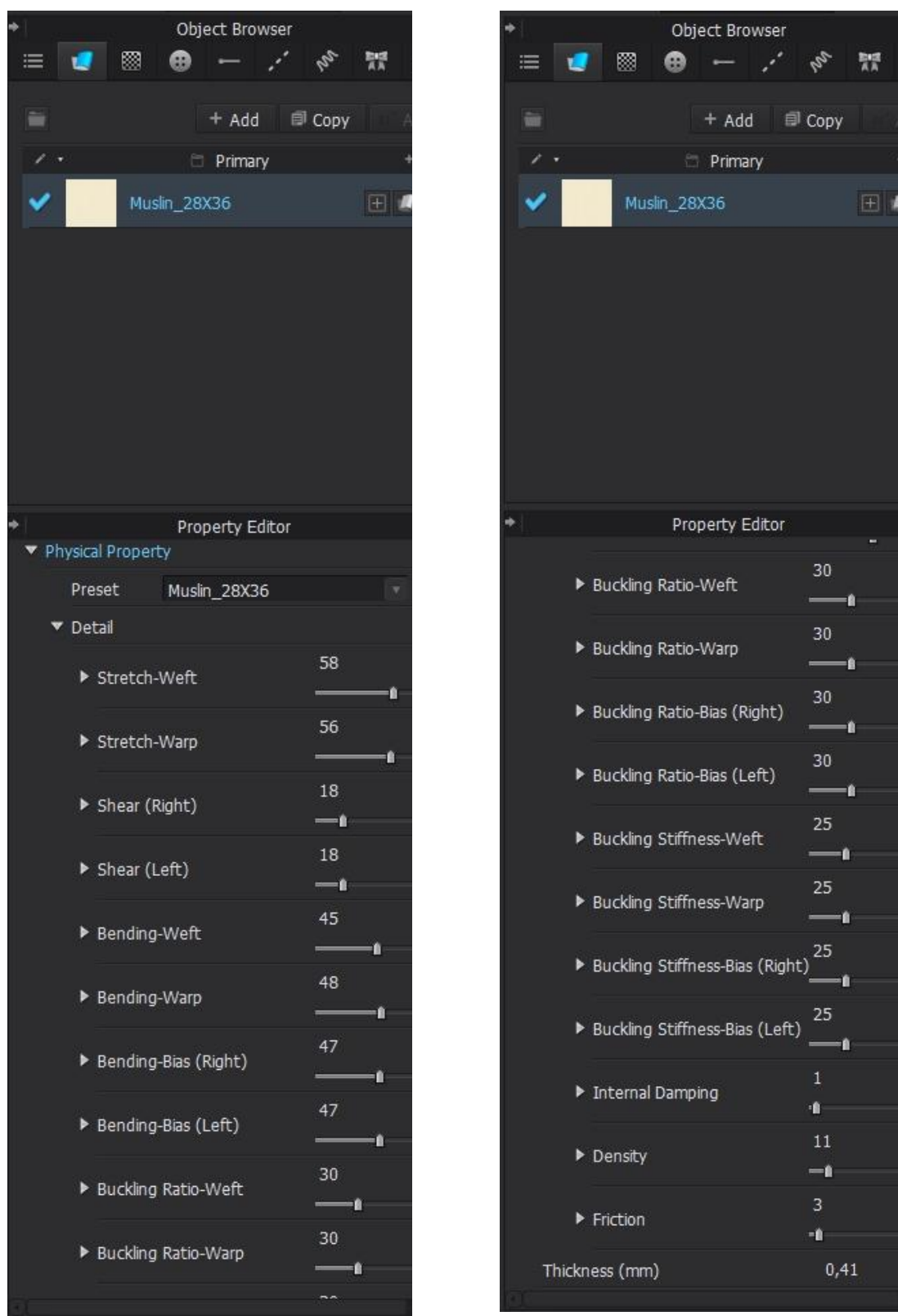


Рисунок 2.32 – Параметры раздела «Физические свойства» редактора свойств материала программы Clo3D

Фотоизображения цифровой примерки изделий, выполненной в программе Clo3D на аватар «А», во фронтальной и сагиттальной плоскостях получены с помощью функции «фото экрана» и представлены на рис. 2.33-2.35:

– изделия трапециевидного силуэта на рис. 2.33: МК1_1 малого объема (рис. 2.33, а), МК1_2 среднего объема (рис. 2.33, б), МК1_3 большого объема (рис. 2.33, в) и МК1_4 объемом больше среднего (рис. 2.33, г):



Рисунок 2.33 а – Визуализация цифровой примерки МК1_1 силуэта «трапеция» малого объема на аватар «А» программы Clo3D



Рисунок 2.33 б – Визуализация цифровой примерки МК1_2 силуэта «трапеция» среднего объема на аватар «А» программы Clo3D



Рисунок 2.33 в – Визуализация цифровой примерки МК1_3 силуэта «трапеция» большого объема на аватар «А» программы Clo3D



Рисунок 2.33 г – Визуализация цифровой примерки МК1_4 силуэта «трапеция» объема больше среднего на аватар «А» программы Clo3D

– изделия прямого силуэта на рис. 2.34: МК2_1 малого объема (рис. 2.34, а), МК2_2 среднего объема (рис. 2.34, б), МК2_3 объемом больше среднего (рис. 2.34, в) и МК2_4 большого объема (рис. 2.34, г):



Рисунок 2.34 а – Визуализация цифровой примерки МК2_1 прямого силуэта малого объема на аватар «А» программы Clo3D



Рисунок 2.34 б – Визуализация цифровой примерки МК2_2 прямого силуэта среднего объема на аватар «А» программы Clo3D



Рисунок 2.34 в – Визуализация цифровой примерки МК2_3 прямого силуэта объема больше среднего на аватар «А» программы Clo3D



Рисунок 2.34 г – Визуализация цифровой примерки МК2_4 прямого силуэта большого объема на аватар «А» программы Clo3D

– изделия овального силуэта на рис. 2.35: МК3_1 степени объемности больше среднего (рис. 2.35, а), МК3_2 среднего объема (рис. 2.35, б), МК3_3 малого объема (рис. 2.35, в) и МК3_4 большого объема (рис. 2.35, г):



Рисунок 2.35 а – Визуализация цифровой примерки МК3_1 овального объема больше среднего на аватар «А» программы Clo3D



Рисунок 2.35 б – Визуализация цифровой примерки МК3_2 овального силуэта среднего объема на аватар «А» программы Clo3D



Рисунок 2.35 в – Визуализация цифровой примерки МК3_3 овального силуэта малого объема на аватар «А» программы Clo3D



Рисунок 2.35 г – Визуализация цифровой примерки МК3_4 овального силуэта большого объема на аватар «А» программы Clo3D

Визуализация внешней формы изделий трапецевидного силуэта разных объемных форм в цифровой среде на аватаре «А» свидетельствует о том, что все характеристики внешней формы проектируемых изделий, заданные техническим заданием, удалось воспроизвести в условиях цифровой среды: разработка плоских разверток деталей и симуляция объемно-пространственной формы. Зрительное восприятие объемно-пространственной структуры цифровых 3D моделей МК1_1, МК1_2, МК1_3 и МК1_4 (рис. 2.33) выявило различный характер образования фалд между формами малого объема и большего объема. У цифровой 3D модели МК1_1 (рис. 2.33, а) малого объема фалды крупные, имеют объемную форму и существенно отстают (отклоняются) от поверхности субъекта проектирования. Фалды цифровых 3D моделей МК1_2, МК1_3 и МК1_4 (рис. 2.33, б-г) среднего и большого объема имеют схожий характер образования: фалды неглубокие, имеют мягкие и плавные изгибы (грани), ниспадают вертикально вниз, огибая выпуклые участки внешней формы опорной поверхности. Также выявлен дефект посадки у моделей 1-3 семейства МК1 в области линии плеча. Дефект образуется в результате изменения конфигурации линии плеча при коническом разведении деталей спинки и переда.

Визуализация внешней формы изделий прямого силуэта малого (МК2_1, рис. 2.34, а) и среднего (МК2_2, рис. 2.34, б) объемов на аватаре «А» в цифровой среде соответствует заданным техническим заданием характеристикам внешней формы проектируемых изделий, а визуализация внешней формы изделий прямого силуэта объемов больше среднего имеет несоответствия. Так, при зрительном восприятии объемно-пространственных границ цифровых 3D моделей МК2_3 и МК2_4 (рис. 2.34, в-г) в сагиттальных плоскостях форма имеет очертания трапеции, а во фронтальных – перевернутой трапеции. Также зафиксированы дефекты моделирования: изделия семейства МК2 имеют заломы на спинке от

проймы в сторону выступа лопаток, нарушен боковой баланс в моделях МК2_3 и МК2_4.

Визуализация внешней формы модели МК3_2 овального силуэта среднего объема в условиях цифровой среды на аватаре «А» во фронтальных и сагиттальных плоскостях абсолютно точно воспроизводит заданные техническим заданием характеристики внешней формы разрабатываемого изделия. Визуализация внешней формы других цифровых 3D моделей семейства моделей МК3 во фронтальной плоскости читается как овал, однако в сагиттальных плоскостях может быть интерпретирована как образ изделий прямого силуэта (МК3_1 и МК3_3, рис. 2.35, а, в) и трапецевидного (МК3_4, рис. 2.35, г). Кроме того, также наблюдается дефект моделирования у модели МК3_1 в виде нарушения передне-заднего баланса.

Выводы по главе 2

1. Проанализированы внешние формы манекенов типовой фигуры (164-92-98) и аватаров различных программ трехмерного проектирования одежды. Установлены незначительные отклонения их внешней формы по показателям положения корпуса и высоты плеч в сагиттальной и фронтальной плоскостях, а также различия очертаний контуров в сагиттальной и фронтальной плоскостях и сечений по основным конструктивным поясам. Данные различия имеют неоднозначное влияние на визуальную идентичность цифровых двойников и материальных образцов при проектировании изделий разных силуэтно-объемных форм. Наибольшее значение они имеют при разработке изделий прилегающего силуэта и наименьшее – при проектировании изделий свободных форм. При проектировании цифровых двойников одежды свободных форм необходимо обеспечивать соответствие манекенов и аватаров в области опорной поверхности в изгибах шейного и поясничного отделов позвоночника, наклоне плечевых скатов, что в дальнейшем можно учитывать при совершенствовании процесса оценки качества посадки одежды.

2. Установлено, что для достижения наилучшей визуальной идентичности внешней формы цифровых двойников и материальных образцов женских платьев, симуляцию цифровой формы необходимо проводить с использованием аватаров программы Clo3D, а реальную примерку – на типовом манекене компании Royal Dress Form.

3. Разработаны плоские развертки деталей визуально различных моделей женских платьев прямого, овального и трапециевидного силуэтов разных объемов. Способы их создания учитывают инструментальную базу программ трехмерного проектирования и приемы формообразования для каждой силуэтно-объемной формы. Приемы формообразования основаны

на: а) оболочковой тектонической системе, где формы разных силуэтов и объемов заданы посредством вариации размеров деталей и ниспаданием материала с плечевой опорной поверхности под действием силы тяжести; б) методе моделирования от 2D развертки деталей к 3D форме; в) конструктивных средствах формообразования в виде швов и вытачек и приемов конструктивного моделирования посредством конического и параллельного расширения деталей. На основе представленных плоских разверток деталей созданы цифровые двойники и изготовлены материальные образцы, обеспечивающие качественную посадку изделий на фигуре.

4. Получены математические модели плоских разверток деталей женских платьев прямого, овального и трапециевидного силуэтов, применимые для целей совершенствования процесса цифрового проектирования одежды. Выявлена зависимость изменения положения всех точек контура при изменении положения одной из них во время перехода из одного объема в другой. Предложена «градация формы» контуров плоских разверток деталей станов трапециевидного силуэта.

ГЛАВА 3. РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ ЖЕНСКИХ ПЛАТЬЕВ

В главе приведены результаты экспериментальной работы по оценке соответствия цифровых двойников женских платьев заданным параметрам и их визуальной идентичности внешней форме материальных образцов. Представлен процесс создания базы данных плоских разверток деталей и цифровых двойников женских платьев разных силуэтно-объемных форм. База данных реализована на основе режима Modular программы Clo3D. Разработан алгоритм технологии создания и преобразования цифровых двойников женских платьев с разной силуэтно-объемной формой. Результаты данной главы опубликованы в статье [162].

3.1. Методика оценки цифровых двойников одежды

Согласно представленным выше требованиям к процессу и результату проектирования одежды и сущности технологий создания цифровых 2D и 3D моделей одежды оценка результата проектирования цифрового двойника одежды осуществляется по следующим групповым показателям: ГП1 – корректность формализации проектного образа; ГП2 – корректность выбора цифровой техники и программного обеспечения; ГП3 – корректность выбранного способа создания и/или преобразования цифровой формы 3D модели; ГП4 – корректность задания параметров цифрового двойника и его настройки; ГП5 – корректность полученной цифровой формы 3D модели.

Оценка полученного результата по каждому групповому показателю определяется с использованием метода экспертной оценки. Для оценки каждого группового показателя разработаны единичные показатели соответствия с указанием их коэффициентов весомости. Единичные

показатели соответствия, имеющие наибольшие по величине коэффициенты весомости и оказывающие существенное влияние на оценку качества достижения поставленных цели и задач, выделены в группу ведущих показателей. Необходимо отметить, что в зависимости от того, как будет использоваться результат проектирования цифровой формы 3D модели (останется только в цифровом виде или будет воспроизведена физически), коэффициент весомости единичных показателей по каждому групповому показателю будет различен. Поскольку некоторые единичные показатели не могут быть измерены количественно, то для их оценки используется условная 5-ти балльная шкала по принципу семантического дифференциала [160], где 5 – максимальный балл, 1 – минимальный балл. Критерии оценки каждого единичного показателя приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Критерии единичного показателя

Уровень соответствия	Показатель
5	Полное соответствие
4	Высокая степень соответствия
3	Умеренная степень соответствия
2	Низкая степень соответствия
1	Не соответствует

Каждый единичный показатель имеет свой коэффициент весомости. Итоговые значения баллов по каждому единичному показателю суммируются, определяя величину балла по групповому показателю в целом. По групповым показателям ГП1-ГП4 минимальный балл составляет 1, максимальный – 5, а по ГП5 минимальный балл 4, максимальный – 20. Таким образом, если полученный результат оценки каждого группового показателя имеет максимальную оценку балльной шкалы, то показатель полностью соответствует поставленным цели и задачам, следовательно

обеспечивается соответствие заданным параметрам, т.е. требованиям технического задания и характеристикам проектного образа.

Относительная шкала оценки соответствия цифрового двойника заданным параметрам по всем групповым показателям представлена в виде уровней достижения результата:

30-40 – результат достигнут, цифровой двойник соответствует всем заданным параметрам;

20-29 – требуется незначительная доработка полученного результата, цифровой двойник имеет высокую степень соответствия заданным параметрам;

10-19 – требуется существенная доработка полученного результата, цифровой двойник имеет удовлетворительную степень соответствия заданным параметрам;

ниже 10 – требуется переработка, цифровой двойник не соответствует заданным параметрам.

Групповые и единичные показатели с учетом коэффициента весомости и их баллы приведены в таблицах 3.1-3.5.

Согласно разработанным групповым показателям методом экспертных оценок произведена оценка разработанных в диссертационном исследовании 12 цифровых форм3D моделей женской однослойной плечевой одежды разных силуэтно-объемных форм параметрам технического задания и характеристикам проектного образа. Объекты были представлены в виде фотоизображений: вид спереди, вид справа, вид слева, вид сзади.

Таблица 3.1 – Единичные показатели, определяющие групповой показатель «Корректность формализации проектного образа»

Единичный показатель	Балл	Модели Ц-Ф		Модели Ц-Ц	
		Коэффициент весомости	Интервал полученного балла с учетом коэффициента весомости	Коэффициент весомости	Интервал полученного балла с учетом коэффициента весомости
1	2	3	4	5	6
Соответствие формы эскизу / замыслу / идее и т.д.	1÷5	0,2	0,2÷1,0	0,2	0,2÷1,0
Соответствие пластики формы	1÷5	0,1	0,1÷0,5	0,15	0,15÷0,8
Соответствие фактуры материала	1÷5	0,1	0,1÷0,5	0,1	0,1÷0,3
Соответствие пропорций частей от целого	1÷5	0,1	0,1÷0,6	0,1	0,1÷0,5
Соответствие пропорций частей относительно фигуры	1÷5	0,15	0,15÷0,75	0,15	0,15÷0,8
Соответствие степени прилегания	1÷5	0,15	0,15÷0,76	0,15	0,15÷0,8
Соответствие расположения конструктивных элементов	1÷5	0,1	0,1÷0,5	0,1	0,1÷0,5

Окончание таблицы 3.1

1	2	3	4	5	6
Соответствие расположения конструктивно-декоративных и декоративных элементов	1÷5	0,1	0,1÷0,5	0,1	0,1÷0,5
Итоговый балл по ГП		1÷5		1÷5	

Таблица 3.2 – Единичные показатели, определяющие групповой показатель «Корректность выбора цифровой техники и программного обеспечения»

Единичный показатель	Балл	Модели Ц-Ф		Модели Ц-Ц	
		Коэффициент весомости	Интервал полученного балла с учетом коэффициента весомости	Коэффициент весомости	Интервал полученного балла с учетом коэффициента весомости
1	2	3	4	5	6
Доступность программного обеспечения для решения поставленных задач	1÷5	0,05	0,05÷0,25	0,05	0,05÷0,25
Объектно-инструментальное содержание программного обеспечения позволяет решать поставленные задачи	1÷5	0,5	0,5÷2,5	0,5	0,5÷2,5

Окончание таблицы 3.2.

1	2	3	4	5	6
Простота освоения объектно-инструментального содержания программного обеспечения	1÷5	0,15	0,15÷0,75	0,15	0,15÷0,75
Соответствие трудоемкости для решения поставленных задач	1÷5	0,3	0,3÷1,5	0,3	0,3÷1,5
Итоговый балл по ГП		1÷5		1÷5	

Таблица 3.3– Единичные показатели, определяющие групповой показатель «Корректность выбора способа создания и/или преобразования цифровой формы 3D модели»

Единичный показатель	Балл	Модели Ц-Ф		Модели Ц-Ц	
		Коэффициент весомости	Интервал полученного балла с учетом коэффициента весомости	Коэффициент весомости	Интервал полученного балла с учетом коэффициента весомости
1	2	3	4	5	6
Соответствие цели создания 3D модели	1÷5	0,5	0,5÷2,5	0,5	0,5÷2,5

Окончание таблицы 3.3

1	2	3	4	5	6
Соответствие решаемым задачам создания 3D модели	1÷5	0,25	0,25÷1,25	0,25	0,25÷1,25
Соответствие выбранным цифровой технике и программному обеспечению	1÷5	0,25	0,25÷1,25	0,25	0,25÷1,25
Итоговый балл по ГП		1÷5		1÷5	

Таблица 3.4 – Единичные показатели, определяющие групповой показатель «Корректность определения необходимости использования цифрового двойника и задания параметров и его настройки»

Единичный показатель	Балл	Модели Ц-Ф		Модели Ц-Ц	
		Коэффициент весомости	Интервал полученного балла с учетом коэффициента весомости	Коэффициент весомости	Интервал полученного балла с учетом коэффициента весомости
1	2	3	4	5	6

Окончание таблицы 3.4

1	2	3	4	5	6
Корректность определения необходимости использования цифрового двойника	1÷5	0,3	$0,3 \div 1,5$	0,33	$0,33 \div 1,67$
Соответствие размерных признаков цифрового двойника исходному набору размерных признаков фигуры	1÷5	0,4	$0,4 \div 2,0$	0,33	$0,33 \div 1,67$
Соответствие заданных параметров цифрового двойника исходному набору параметров формы фигуры	1÷5	0,3	$0,3 \div 1,5$	0,33	$0,33 \div 1,67$
Итоговый балл по ГП	1÷5		1÷5		

Таблица 3.5 – Единичные показатели, определяющие групповой показатель «Корректность полученной цифровой формы 3D модели»

Единичный показатель	Балл	Модели Ц-Ф		Модели Ц-Ц	
		Коэффициент весомости	Интервал полученного балла с учетом коэффициента весомости	Коэффициент весомости	Интервал полученного балла с учетом коэффициента весомости
1	2	3	4	5	6
Соответствие полученной визуализации 3D модели исходному проектному образу:					
Соответствие 3D модели художественному замыслу	1÷5	0,5	0,5÷2,5	0,33	0,33÷1,67
Целостность 3D модели	1÷5	0,2	0,2÷1,0	0,33	0,33÷1,67
Детализация 3D модели	1÷5	0,15	0,15÷0,75	0,33	0,33÷1,67
Реалистичность 3D модели	1÷5	0,15	0,15÷0,75	0,33	0,33÷1,67
Итоговый балл по показателю		1÷5		1÷5	
Соответствие полученной формы 3D модели цифровому двойнику в статике:					
Отсутствие горизонтальных заломов	1÷5	0,061	0,061÷0,305	0,064	0,064÷0,32

Продолжение таблицы 3.5

1	2	3	4	5	6
Отсутствие вертикальных заломов	1÷5	0,061	$0,061 \div 0,305$	0,064	$0,064 \div 0,32$
Отсутствие наклонных заломов	1÷5	0,061	$0,061 \div 0,305$	0,064	$0,064 \div 0,32$
Отсутствие складок и морщин	1÷5	0,061	$0,061 \div 0,305$	0,064	$0,064 \div 0,32$
Отсутствие угловых заломов	1÷5	0,06	$0,06 \div 0,3$	0,064	$0,064 \div 0,32$
Отсутствие балансовых нарушений (опорный, боковой, переднезадний)	1÷5	0,1	$0,1 \div 0,5$	0,1	$0,1 \div 0,5$
Отвесность положения краев бортов полочек (для распашных плечевых изделий)	1÷5	0,086	$0,086 \div 0,429$	0,066	$0,066 \div 0,33$
Отсутствие наклонных свободных складок на спинке от проймы или боковых швов	1÷5	0,06	$0,06 \div 0,3$	0,064	$0,064 \div 0,32$
Отвесность положения рукава	1÷5	0,06	$0,06 \div 0,3$	0,064	$0,064 \div 0,32$

Продолжение таблицы 3.5

1	2	3	4	5	6
Отсутствие горизонтальных свободных и напряженных складок на спинке под воротником	1÷5	0,06	$0,06 \div 0,3$	0,064	$0,064 \div 0,32$
Горизонтальность положения низа изделия (для поясных изделий)	1÷5	0,086	$0,086 \div 0,43$	0,066	$0,066 \div 0,33$
Отсутствие излишнего отставания воротника от шеи сзади и сбоку	1÷5	0,061	$0,061 \div 0,305$	0,064	$0,064 \div 0,32$
Отсутствие излишнего прилегания воротника сзади к шее	1÷5	0,061	$0,061 \div 0,305$	0,064	$0,064 \div 0,32$
Отсутствие напряжения ткани внутри детали	1÷5	0,061	$0,061 \div 0,305$	0,064	$0,064 \div 0,32$
Отсутствие свободных складок в области талии полочки или спинки	1÷5	0,061	$0,061 \div 0,305$	0,064	$0,064 \div 0,32$

Продолжение таблицы 3.5

1	2	3	4	5	
Итоговый балл по показателю	1÷5		1÷5		
Соответствие полученной формы 3D модели цифровому двойнику в динамике:					
Отсутствие деформации материалов в деталях 3D модели	1÷5	1,0	0,2÷1,0	0,25	1,25
Отсутствие критического значения давления ткани 3D модели на опорные поверхности цифрового двойника	1÷5	2,5	0,5÷2,5	0,25	1,25
Горизонтальность положения низа 3D модели при размахе рук цифрового двойника	1÷5	0,75	0,15÷0,75	0,25	1,25
Горизонтальность положения низа 3D модели при подъеме рук цифрового двойника	1÷5	0,75	0,15÷0,75	0,25	1,25
Итоговый балл по показателю	1÷5		1÷5		

Окончание таблицы 3.5

1	2	3	4	5	6
Соответствие конфигурации конструктивных линий 3D модели 2D развертке деталей и соблюдение технологических приемов сборки:					
Соответствие направления нити основы	1÷5	0,25	0,25÷1,25	0,167	0,167÷0,833
Соответствие сопряжения соединяемых деталей	1÷5	0,25	0,25÷1,25	0,167	0,167÷0,833
Отсутствие смещения монтажных надсечек	1÷5	0,2	0,2÷1,0	0,167	0,167÷0,833
Отсутствие растяжения и/или посадки срезов деталей	1÷5	0,1	0,1÷0,5	0,167	0,167÷0,833
Отсутствие искривления швов и краев 3D модели	1÷5	0,1	0,1÷0,5	0,167	0,167÷0,833
Соответствие прокладок и подкладки 3D модели	1÷5	0,1	0,1÷0,5	0,167	0,167÷0,833
Итоговый балл по показателю	1÷5			1÷5	
Итоговый балл по ГП	4÷20			4÷20	

С помощью «Google Формы» был разработан и проведен онлайн-опрос (пример формы вопроса приведен в Приложении Е) среди «экспертов-конструкторов» ($n=20$) и «студентов-конструкторов» ($m=12$). В качестве «экспертов-конструкторов» в опросе приняли участие а) конструкторы и дизайнеры одежды, работающие на фрилансе и производстве; б) преподаватели вузов, реализующие дисциплины по конструированию изделий швейной промышленности и художественному формообразованию одежды; в) руководители компаний по производству и реализации женской одежды. Респондентов из категории «студенты-конструкторы» составили обучающиеся профильных вузов и программ дополнительного образования, прошедших обучение по направлениям конструирования изделий швейной промышленности, художественного формообразованию одежды, проектирования швейных изделий в 2D и 3D САПР.

Результаты экспертной оценки по моделям семейства МК1, МК2, МК3 приведены в Приложении Е и таблице 3.6.

Согласно полученным результатам экспертной оценки девять моделей из двенадцати характеризуются тем, что результат достигнут и модели по всем показателям соответствуют требованиям технического задания и проектному образу. Модели МК2_3, МК2_4 и МК3_1 имеет высокую степень соответствия требованиям технического задания и проектному образу, но требуется незначительная доработка полученного результата.

Таблица 3.6– Результаты экспертной оценки соответствия цифрового результата требованиям ТЗ и характеристикам проектного образа

Наименование модели	Значение баллов по каждому групповому показателю (ГП)					Итоговый балл	Уровень достижения результата
	ГП1	ГП2	ГП3	ГП4	ГП5		
МК1_1	4,23	4,16	4,22	4,34	13,15	30,10	результат достигнут
МК1_2	4,35	4,38	4,34	4,22	13,41	30,70	результат достигнут
МК1_3	4,32	4,44	4,38	4,31	13,58	31,02	результат достигнут
МК1_4	4,33	4,34	4,28	4,47	13,58	31,00	результат достигнут
МК2_1	4,18	4,33	4,25	4,38	12,93	30,07	результат достигнут
МК2_2	4,26	4,33	4,38	4,25	12,91	30,12	результат достигнут
МК2_3	3,43	3,79	3,92	4,04	12,08	27,26	требуется незначительная доработка
МК2_4	3,73	3,96	3,92	3,88	12,60	28,07	требуется незначительная доработка
МК3_1	4,10	4,27	4,23	4,27	12,25	29,12	требуется незначительная доработка
МК3_2	4,45	4,41	4,36	4,45	13,67	31,35	результат достигнут
МК3_3	4,32	4,55	4,41	4,41	13,75	31,43	результат достигнут
МК3_4	4,29	4,32	4,18	4,27	13,54	30,60	результат достигнут

Предложенная методика используется для оценки двухмерных и трехмерных цифровых моделей одежды. Цифровая форма двухмерных моделей одежды оценивается на соответствие групповому показателю «Проектный образ формализован корректно?», который в свою очередь представлен набором единичных показателей. Цифровая форма трехмерных моделей одежды оценивается на соответствие всем представленным выше групповым показателям, каждый из которых содержит свой набор единичных показателей. Цифровая форма трехмерных моделей одежды, которые в последующем будут воспроизведены физически, оценивается на соответствие всем групповым показателям в два этапа: оценка цифровой формы; оценка ее физической формы (образец изделия).

3.2. Методика экспертной оценки визуальной идентичности цифрового двойника женского платья внешней форме материального образца

При проектировании цифрового двойника одежды важным является соответствие полученной цифровой модели заданным параметрам, но и высокая степень валидации цифровой формы и ее материального образца. Выполнение данного условия обеспечивается подбором адекватных субъектов проектирования – поверхность тела аватара и поверхность тела человека (манекена), выбор цифровых и реальных образцов материалов с одинаковыми свойствами, реализация объемно-пространственной формы на основе единых формообразующих элементов – плоских разверток деталей одежды с одинаковыми контурами. Учитывая соблюдение указанных выше условий, можно производить оценку визуальной идентичности формы.

Сравнение и оценку визуальной идентичности формы предлагается осуществлять по следующим показателям (таблица 3.7):

- идентичность внешних форм по геометрическому виду;
- идентичность внешних форм по величине;
- идентичность внешних форм по массе;
- идентичность фактуры материала;
- идентичность пластичности материала;
- идентичность количества фалд поверхности формы;
- идентичность формы и направления фалд поверхности формы.

Оценка визуальной идентичности внешней формы цифровых двойников и материальных образцов проведена методом экспертной оценки. Как и в случае оценки соответствия цифрового двойника заданным параметрам, оценка визуальной идентичности проводилась в форме онлайн-опроса (пример формы вопроса приведен в Приложении Ж) среди «экспертов-конструкторов» ($n=60$) и «студентов-конструкторов» ($m=82$). Вопросы онлайн-опроса были разбиты на три основные части. Набор вопросов 1 включал вопросы визуального подобия создания внешней формы цифровых двойников и материальных образцов, набор вопросов 2 включал вопросы визуального подобия воспроизведения и передачи физико-механических свойств и фактуры материала, а набор вопросов 3 содержал вопросы определения профессиональной принадлежности респондентов и их мнения относительно представленных в анкете вопросов.

Для оценки показателей используется условная 5-ти балльная шкала по принципу семантического дифференциала [160], где 5 – максимальный балл, 1 – минимальный балл.

Критерии оценки каждого единичного показателя приведены в таблице 3.8.

Таблица 3.7 – Показатели, определяющие визуальную идентичность цифровых двойников внешней форме материальных образцов

Показатель	Балл	Модели Ц-Ф	
		Коэффициент весомости	Интервал полученного балла с учетом коэффициента весомости
Идентичность внешней формы по геометрическому виду	1÷5	0,2	0,2÷2,5
Идентичность внешней формы по величине	1÷5	0,14	0,14÷0,7
Идентичность внешней формы по массе	1÷5	0,11	0,11÷0,55
Идентичность фактуры материала	1÷5	0,135	0,135÷0,675
Идентичность пластичности материала	1÷5	0,14	0,14÷0,7
Идентичность количества фалд поверхности формы	1÷5	0,135	0,135÷0,675
Идентичность формы и направления фалд поверхности формы	1÷5	0,14	0,14÷0,7
Итоговый балл по показателю		1÷5	

Таблица 3.8 – Критерии показателя

Уровень идентичности	Показатель
5	Полное соответствие
4	Высокая степень соответствия
3	Умеренная степень соответствия
2	Низкая степень соответствия
1	Не соответствует

Каждый показатель имеет свой коэффициент весомости. Итоговые значения баллов по каждому показателю суммируются, определяя степень визуальной идентичности.

Относительная шкала степени визуальной идентичности цифровых двойников внешней форме материальных образцов приведена ниже:

- 4,01-5 – совершенно идентичны;
- 3,01-4 – высокая степень идентичности;
- 2,01-3 – умеренная степень идентичности;
- 1,01 2 – низкая степень идентичности;
- 0-1 – не идентичны.

Результаты экспертной оценки по моделям семейства МК1, МК2, МК3 приведены в Приложении Ж и таблице 3.9.

Полученные результаты экспертной оценки визуальной идентичности цифровых двойников внешней форме материальных образцов свидетельствуют о полной визуальной идентичности форм всех моделей овального и прямого силуэтов разных объемов и модели трапециевидного силуэта объемом больше среднего (МК1_1). Исключение составляют модели МК1_1, МК1_2 и МК1_3, которые имеют высокую степень визуальной идентичности формы.

Таблица 3.9 –Результаты экспертной оценки визуальной идентичности цифровых двойников внешней форме материальных образцов по каждому единичному показателю

Наименование модели	П1	П2	П3	П4	П5	П6	П7	Итоговый балл	Степень визуальной идентичности
МК1_1	0,74	0,54	0,41	0,50	0,53	0,54	0,53	3,78	высокая степень идентичности
МК1_2	0,71	0,53	0,41	0,54	0,53	0,46	0,53	3,73	высокая степень идентичности
МК1_3	0,75	0,52	0,42	0,55	0,57	0,51	0,52	3,83	высокая степень идентичности
МК1_4	0,81	0,58	0,44	0,56	0,58	0,53	0,56	4,06	совершенно идентичны
МК2_1	0,91	0,65	0,51	0,59	0,60	0,60	0,61	4,46	совершенно идентичны
МК2_2	0,83	0,62	0,49	0,59	0,61	0,60	0,62	4,35	совершенно идентичны
МК2_3	0,87	0,63	0,49	0,60	0,60	0,61	0,61	4,41	совершенно идентичны
МК2_4	0,88	0,61	0,49	0,57	0,58	0,56	0,60	4,29	совершенно идентичны
МК3_1	0,91	0,64	0,50	0,58	0,59	0,59	0,61	4,42	совершенно идентичны
МК3_2	0,88	0,64	0,50	0,59	0,60	0,60	0,64	4,45	совершенно идентичны
МК3_3	0,87	0,62	0,49	0,59	0,60	0,59	0,61	4,38	совершенно идентичны
МК3_4	0,86	0,60	0,49	0,57	0,60	0,54	0,59	4,25	совершенно идентичны

Для подтверждения или опровержения выдвинутой выше гипотезы о визуальной идентичности цифровых двойников внешней форме материальных образцов, проявляющейся только при равенстве их физических характеристик, необходимо проанализировать такие характеристики объектов, как физико-механические свойства материалов изделий в цифровой и реальной средах; характер формообразования рельефа поверхности посредством измерения углов и длин абрисов форм по их двумерным изображениям; геометрию контуров сечений по основным конструктивным поясам цифровых трехмерных моделей одежды и 3D сканов реальных изделий; изометрию форм цифровых трехмерных моделей одежды и 3D сканов реальных изделий.

Процесс сравнения и оценки каких-либо объектов между собой возможен в том случае, когда сравниваемые объекты имеют единый формат представления. При проведении исследования осуществлялось сравнение двумерных изображений объектов по фотоизображениям и сопоставление цифровых форм представления объектов (трехмерная модель цифровой одежды и трехмерный скан реального изделия) в двумерном и трехмерном пространстве.

Преобразование физической объемно-пространственной структуры реальных образцов всех силуэтно-объемных форм, полученной посредством примерки на манекен «В», в цифровую форму представления осуществлено методом бесконтактного 3D сканирования с применением программно-аппаратного комплекса Texel Portal MX. Цифровые 3D формы цифровых и реальных моделей сопоставлены в 3D и 2D CAD-системах и графических редакторах (Clo3D, Blender, GOM Inspect, Adobe Illustrator, Corel Draw). Сопоставление производится посредством наложения 2D изображений форм реальных моделей поверх соответствующих изображений цифровых моделей. Валидация визуальной идентичности внешней формы цифровых и реальных моделей выполнена с применением

органолептических и измерительных методов в несколько этапов. Оценка результатов экспериментальной работы осуществляется на основе зрительного восприятия и сравнительного анализа с использованием метода «да-нет». Метод «да-нет» заключается в том, что по каждому отдельно взятому признаку выявляется наличие или отсутствие подобия, т.е. задается вопрос есть ли различия или нет. Ответ «да» дается в случае обнаружения соответствия, «нет» – в случае обнаружения несоответствия.

Анализ проявления физико-механических свойств материалов в форме изделий в цифровой и реальной средах по показателям геометрического вида, величины и массы формы произведен посредством зрительного восприятия подобия контуров форм цифровых (рис. 3.33-3.35) и реальных (рис. 3.28-3.30) моделей во фронтальной (вид спереди и вид сзади) и профильной (вид слева и вид справа) проекционных плоскостях. Для этого в программе Adobe Illustrator [161] двумерные изображения цифровых моделей и материальных изделий приведены к единому размеру и выполнено их наложение с выравниванием по вертикальной оси (ось Y), совмещением горловин в точках основания шеи и установленной прозрачностью 80% (рис. 3.36 модели семейства МК1, рис. 3.37 модели семейства МК2, рис. 3.38 модели семейства МК3).

Анализ вида объемно-пространственных форм позволил установить сходства и различия цифровых двойников и материальных образцов. Так, визуализации цифровых двойников и материальных образцов МК1_1, МК1_2 и МК1_3 трапецевидного силуэта неидентичны в воспроизведении таких характеристик формы, как геометрический вид (форма материального образца МК1_1 во фронтальных плоскостях подобна прямоугольнику), величина и масса (характеристики материального образца МК1_1 во фронтальных и сагиттальных плоскостях меньше, чем аналогичные у цифрового, и, наоборот, характеристики цифровых двойников МК1_2 и МК1_3 в сагиттальных плоскостях меньше аналогичных реальных образцов).

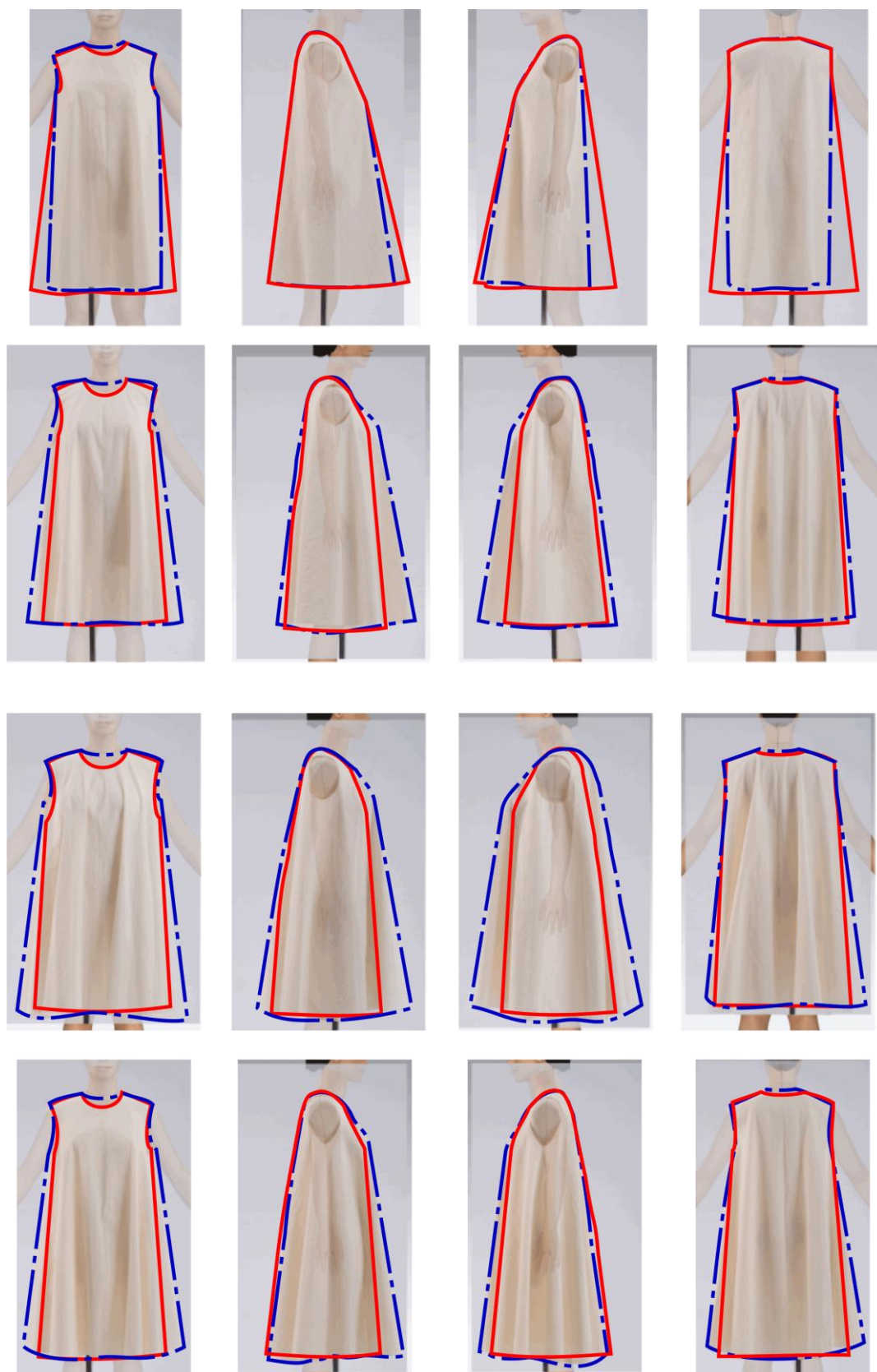


Рисунок 3.36 – Наложение 2D изображений цифровых и реальных моделей семейства МК1, где цифровая модель – сплошной контур, материальный образец – пунктирный контур



Рисунок 3.37 – Наложение 2D изображений цифровых и реальных моделей семейства МК2, где цифровая модель – сплошной контур, материальный образец – пунктирный контур



Рисунок 3.38 – Наложение 2D изображений цифровых и реальных моделей семейства МКЗ, где цифровая модель – сплошной контур, материальный образец – пунктирный контур

Таблица 3.10 – Сравнительный анализ количественных значений периметров и площадей контуров моделей платьев семейств МК1, МК2 и МК3

Код модели	Степень визуальной идентичности, установленная методом экспертной оценки	ΔP , %					ΔS , %				
		Вид спереди	Вид справа	Вид слева	Вид сзади	$\bar{\Delta P}$	Вид спереди	Вид справа	Вид слева	Вид сзади	$\bar{\Delta S}$
МК1_1	высокая степень идентичности	-5,79	-2,07	-5,60	-7,99	-5,36	-10,08	-14,72	-16,38	-17,38	-14,64
МК1_2	высокая степень идентичности	3,93	6,09	7,46	1,30	4,70	20,10	26,69	28,95	8,32	21,02
МК1_3	высокая степень идентичности	6,42	7,30	10,74	2,90	6,84	18,26	30,43	44,75	8,39	25,46
МК1_4	совершенно идентичны	2,06	5,21	1,99	1,41	2,67	18,77	12,39	7,38	10,68	12,30
МК2_1	совершенно идентичны	0,96	0,14	1,31	2,29	0,01	4,08	0,64	-5,26	2,10	0,39
МК2_2	совершенно идентичны	0,62	3,36	-1,03	4,00	0,02	6,48	10,74	10,54	9,15	9,23
МК2_3	совершенно идентичны	1,54	0,72	1,52	1,16	1,24	4,40	-0,63	0,00	5,43	2,30
МК2_4	совершенно идентичны	0,73	-1,40	0,29	-3,82	-1,05	0,24	-6,29	-9,54	-2,76	-4,59
МК3_1	совершенно идентичны	-3,56	0,37	-2,30	-4,18	-2,42	-2,71	2,01	9,12	-7,81	0,15
МК3_2	совершенно идентичны	-2,85	-1,33	3,51	-5,03	-1,42	-8,40	-4,89	-3,28	-10,67	-6,81
МК3_3	совершенно идентичны	-1,81	-0,07	-1,22	0,33	-0,69	-4,75	2,47	1,73	-0,67	-0,31
МК3_4	совершенно идентичны	-1,67	0,22	-2,28	0,74	-0,75	-5,50	2,82	4,31	-3,07	-0,36

Анализ количественных значений периметров и площадей контуров моделей платьев, приведенный в таблице 3.10, позволил установить:

– степени визуальной идентичности «совершенно идентичны», установленной методом экспертной оценки, соответствует разница периметров $\pm 0 \div 3,5$ %, разница площадей – $\pm 0 \div 13$ %;

– степени «высокая степень идентичности», установленной методом экспертной оценки, соответствует разница периметров $\pm 3,5 \div 7$ %, разница площадей – $\pm 13,01 \div 26$ %.

Установленные значения позволяют определить интервал визуального безразличия, при котором формы цифровых моделей и материальных образцов воспринимаются визуально как идентичные. Величины интервалов безразличия установлены при сравнении периметров и площадей контуров формы цифровых моделей и материальных образцов по двумерным изображениям в четырех проекциях.

Величина интервала безразличия по периметру рассчитывается по формулам:

$$\Delta P_i = \left(\frac{P_{iM}}{P_{iЦ}} - 1 \right) * 100\%, \quad (3.1)$$

где ΔP_i – разница периметров контуров форм цифровых моделей и материальных образцов в одной проекции двумерного изображения,

P_{iM} – периметр контура формы материального образца,

$P_{iЦ}$ – периметр контура формы цифровой модели.

$$\bar{\Delta P} = \frac{\Delta P_1 + \Delta P_2 + \Delta P_3 + \Delta P_4}{4}, \quad (3.2)$$

где $\bar{\Delta P}$ – среднее арифметическое разницы периметров контуров форм цифровых моделей и материальных изделий в четырех проекциях.

Величина интервала безразличия по площади рассчитывается по формуле:

$$\Delta S_i = \left(\frac{S_{iM}}{S_{iЦ}} - 1 \right) * 100\%, \quad (3.3)$$

где ΔS_i – разница площадей контуров форм цифровых моделей и материальных образцов в одной проекции двухмерного изображения,

S_{iM} – площадь контура формы материального образца,

$S_{iц}$ – площадь контура формы цифровой модели.

$$\bar{\Delta S} = \frac{\Delta S_1 + \Delta S_2 + \Delta S_3 + \Delta S_4}{4}, \quad (3.4)$$

где $\bar{\Delta S}$ – среднее арифметическое разницы площадей контуров форм цифровых моделей и материальных изделий в четырех проекциях.

Величины интервалов визуального безразличия, рассчитанные по приведенным выше формулам, составляют $\pm 3,5$ % по периметрам и ± 13 % по площадям.

Следовательно, выявлена зависимость степени визуальной идентичности внешней формы цифровых моделей и материальных образцов и величин отклонения периметров и площадей контуров форм в четырех проекциях двухмерных изображений:

совершенно идентичны: $\bar{\Delta P} = \pm 0 \div 3,5$ %; $\bar{\Delta S} = \pm 0 \div 13$ %;

высокая степень идентичности: $\bar{\Delta P} = \pm 3,51 \div 7$ %; $\bar{\Delta S} = \pm 13,01 \div 26$ %;

умеренная степень идентичности: $\bar{\Delta P} = \pm 7,01 \div 10,5$ %; $\bar{\Delta S} = \pm 26,01 \div 39$ %;

низкая степень идентичности: $\bar{\Delta P} = \pm 10,51 \div 14$ %; $\bar{\Delta S} = \pm 39,01 \div 51$ %;

не идентичны: $\bar{\Delta P}$ – *свыше* 14%; $\bar{\Delta S}$ – *свыше* 51%.

Сравнительный анализ наложения контуров фотоизображений цифровых двойников и материальных образцов (рис. 3.36-3.38) позволил также установить различия в визуализации формы линии горловины во всех моделях семейства МК1 цифровых двойников и материальных образцов. Под тяжестью ткани линия горловины цифровых двойников очень сильно деформируется (растягивается) по сравнению с реальными образцами,

формы линии горловины которых существенно не изменяется. Это наглядно продемонстрировано на рис. 3.39, где выполнено наложение абрисов горловин цифровых двойников и материальных образцов семейства МК1, вид спереди.

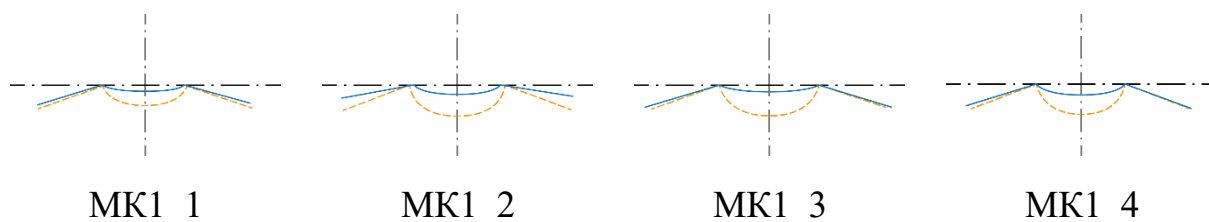


Рисунок 3.39 – Абрисы горловин (вид спереди) цифровых двойников и материальных образцов семейства МК1

Установлено, что характер образования фалд в цифровой среде программы Clo3D отличается от формообразования в условиях реальной среды. Особенно это видно на 2D изображениях изделий МК1_2 и МК1_3: в цифровых двойниках на участке от плечевого до грудного конструктивных поясов формообразование фалд визуально отсутствует, в то время как в материальном образце визуализация рельефа фалд ясно различима и образуется от линий плеча и горловины, как и предусмотрено конструктивным моделированием, а форма фалд умеренного объема. Чем объемнее модель, тем больше трапецевидный силуэт цифрового двойника вытягивается и не создает заложенной конструктивным моделированием степени объемности (особенно проявляется в изделиях МК1_2 и МК1_3 в сагиттальных плоскостях, рис. 3.36), а форма фалд уплощается.

Результаты сопоставления 2D изображений внешних форм цифровых двойников и материальных образцов прямого силуэта показали, что в целом модели имеют подобный геометрический вид внешних форм, величины и массы.

Наложение 2D изображений внешних форм цифровых двойников и материальных образцов овального силуэта в целом демонстрирует, что модели имеют подобный геометрический вид внешних форм. В

сагиттальных плоскостях как цифровые двойники, так и материальные образцы семейства МКЗ показывают идентичность в передаче степени объема. Во фронтальных плоскостях внешняя форма материальных образцов, по сравнению с аналогичными цифровыми двойниками, имеет незначительные несоответствия в воспроизведении степени объема на участке ниже линии талии. Причем, чем больший объем имеет изделие материального образца (объем МКЗ_1 больше среднего, МКЗ_4 – большой), тем заметнее несоответствие передачи степени объема во фронтальной плоскости: ткань изделия в зоне свободного формообразования перераспределяется в сагиттальных плоскостях, образуя мягкие неглубокие фалды, нисходящие от крайних точек соприкосновения ткани с опорной поверхностью (выступающие точки груди и лопатки). Это может свидетельствовать о различии воспроизведения в цифровой среде проявления физико-механических свойств реальной ткани, например, пластичности материала в изделиях больших объемов.

Проведенный анализ установления сходства и различия внешней формы цифровых двойников и материальных образцов по показателям геометрического вида, величины и массы формы свидетельствует о том, что во фронтальных и сагиттальных плоскостях объемно-пространственные границы формы цифровых двойников идентичны материальным образцам, за исключением МК1_1. Следовательно можно говорить о том, что в целом объектно-инструментальный функционал программы Clo3D обеспечивает идентичную материальному образцу визуализацию цифровой внешней формы проектируемых изделий разных силуэтов разных объемов, а выявленные различия минимальны и не влияют на зрительное восприятие внешней формы изделий в целом. Однако следует отметить, что в отличие от моделей трапецевидного силуэта разных объемов и моделей овального силуэта объемов больше среднего, созданных в программе Clo3D, цифровые модели прямого силуэта разных объемов имеют большую

идентичность цифровой визуализации внешней формы с аналогичными моделями материальных образцов. То есть спроектированные в программе Clo3D модели, имеющие меньшую зону свободного формообразования относительно опорной поверхности субъекта проектирования, менее выраженный рельеф поверхности формы, будут иметь более реалистичную цифровую визуализацию формы, которая может быть достаточной в качестве прототипа будущего изделия.

Также анализ 2D изображений цифровых двойников и материальных образцов выявил, что в сагиттальных плоскостях все модели материальных образцов отклоняются вперед, а все цифровые модели – отклоняются назад. Однако, обращая внимание на фотоизображения примерки материальных образцов на манекенах «Б» и «А» (Приложение М), можно заметить подобие их пространственного положения в сагиттальных плоскостях цифровым двойникам. Это может свидетельствовать о различной морфологии внешней опорной поверхности субъектов проектирования, на которые осуществлялись цифровая и реальная примерки. Что, в свою очередь, не подтверждает предположения (параграф 2.1. исследования) о том, что для плечевой одежды объемной силуэтной формы разной степени объемности морфологическое подобие всех точек опорной поверхности субъекта проектирования не столь существенно. Незначительное морфологическое различие внешней формы цифрового субъекта проектирования и материального влияет на визуальное восприятие посадки проектируемых изделий.

Таким образом, полученные в ходе дополнительной примерки материальных образцов изделий на манекенах «Б» и «А» фотоизображения внешней формы изделий свидетельствуют о том, что несмотря на незначительные (в пределах интервала зрительного безразличия) отклонения в характеристиках внешней формы манекенов, внешние формы

изделий подобны аналогичным, образованным во время примерки на манекене «В».

Для анализа характера формообразования рельефа поверхности посредством измерения углов и длин абрисов форм по их двумерным изображениям произведены замеры длин на участке между грудным и коленным конструктивными поясами при проведении цифровой и реальной примерок: длина левого и правого боков, длина ребер фалд спереди и сзади. В среде 3D цифровой примерки программы Clo3D для измерения использован инструмент «3D Pen (Garment)», в реальной примерке – сантиметровая лента портновская. Результаты измерений приведены в таблице 3.11.

Таблица 3.11 – Значения длин на участке между грудным и коленным конструктивными поясами при проведении цифровой и реальной примерок МК1_1

Вид модели	Значения длин фалд, см					
	Вид спереди		Вид сбоку		Вид сзади	
	Левая	Правая	Левая	Правая	Левая	Правая
Цифровой двойник	67,28	67,32	67,12	67,22	66,76	66,44
Материальный образец	67,12	67,23	67,2	67,2	67,0	67,0

Анализ характера формообразования фалд в цифровых двойниках и материальных образцах трапецевидного силуэта произведен посредством измерения их углов в сагиттальных плоскостях от линии груди (рис. 3.40-3.43).

Анализ результатов измерений длин абрисов форм по их двумерным изображениям свидетельствует о высокой степени идентичности

воспроизведения физико-механических свойств цифрового образца материала в цифровой среде в сравнении с реальными испытаниями аналогичного материального образца и отсутствии значимой деформации (растяжения длин под действием силы тяжести) в обеих моделях, но наблюдаются различия в значениях измерений углов абрисов форм цифровых двойников трапецевидного силуэта разных объемов.



Рисунок 3.40 – Измерения углов фалд цифрового двойника (слева) и материального образца (справа) МК1_1



Рисунок 3.41 – Измерения углов фалд цифрового двойника (слева) и материального образца (справа) МК1_2



Рисунок 3.42 – Измерения углов фалд цифрового двойника (слева) и материального образца (справа) МК1_3



Рисунок 3.43 – Измерения углов фалд цифрового двойника (слева) и материального образца (справа) МК1_4

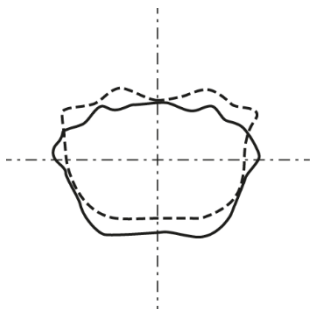
Для анализа показателя геометрии контуров сечений по основным конструктивным поясам цифровых трехмерных моделей одежды и 3D сканов материальных изделий цифровые 3D формы цифровых и материальных моделей в формате obj-файлов попарно импортированы в среду 3D CAD-программы (Blender), масштабированы до одного размера, выровнены по осям X, Y, Z с совмещением горловин в точках основания шеи (Приложение Л) и произведены их горизонтальные сечения:

- на уровне подмышечных впадин – спереди по грудным железам, сзади – по грудной части спины (грудной конструктивный пояс);

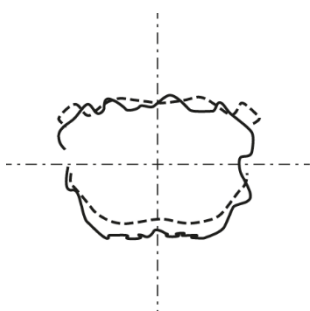
- на уровне колен – спереди и сзади по нижней границе формы (коленный конструктивный пояс).

Анализ геометрии контуров форм цифровых двойников и сканов материальных образцов моделей семейств МК1, МК2 и МК3 в горизонтальных сечениях (рис. 3.44-3.46) показал, что в области грудного конструктивного пояса все модели имеют подобные границы цифровых и материальных 3D моделей. Исключение составили модели МК1_2 и МК1_3, имеющие среднюю и свободную степень прилегания формы к опорной поверхности субъекта проектирования в области грудного конструктивного пояса. Их границы сечений формы различны: цифровой двойник имеет сглаженную границу формы спереди и сзади, а у цифровой модели материального образца граница с выраженным рельефом. Изображения сечений форм на уровне коленного конструктивного пояса свидетельствуют о различии графических образов границ форм у всех моделей семейств МК1, МК2 и МК3 между цифровыми и материальными 3D моделями, что позволяет сделать вывод о существовании разницы в образовании поверхности формы в зоне свободного формообразования в условиях цифровой и реальной сред как внутри одной силуэтно-объемной пары моделей (цифровые формы цифрового двойника и материального образца МК1_1 различны в продольном и поперечном направлениях), так и внутри одной силуэтной группы (например, границы цифровых форм цифровых двойников и материальных образцов семейства МК2 различны). При этом также наблюдается различие в образовании объемно-пространственной структуры формы внутри одной силуэтной группы и одной среды создания. Так, например, границы формы низа цифровых двойников МК2_1 и МК2_2 и цифровых двойников МК2_3 и МК2_4 попарно визуально подобны (границы МК2_1 и МК2_2 округлой формы, а границы МК2_3 и МК2_4 – овальной), а границы формы низа цифровых форм материальных образцов семейства МК3 всех четырех моделей различны.

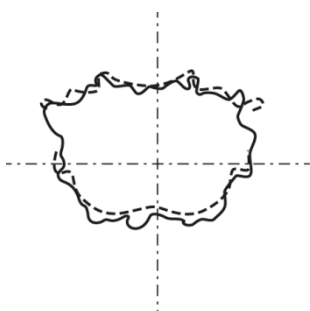
Сечения на уровне грудного
конструктивного пояса



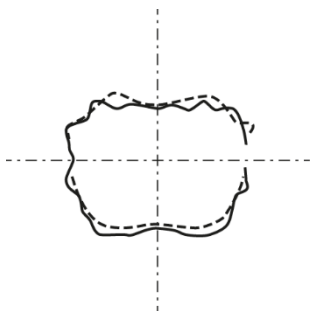
МК1_1 силуэта «трапеция» малого объема



МК1_2 силуэта «трапеция» среднего объема



МК1_3 силуэта «трапеция» большого объема



МК1_4 силуэта «трапеция» объема больше среднего

Сечения на уровне коленного
конструктивного пояса

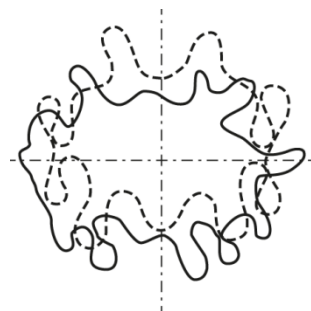
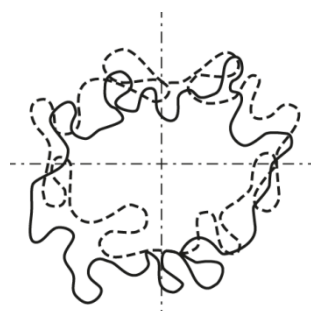
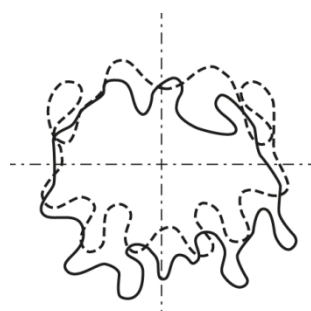
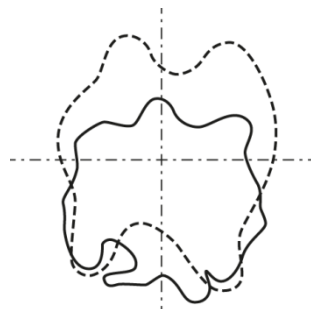
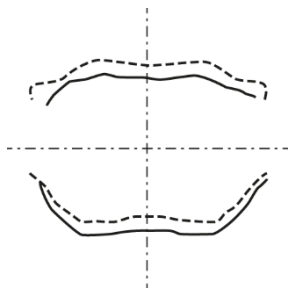
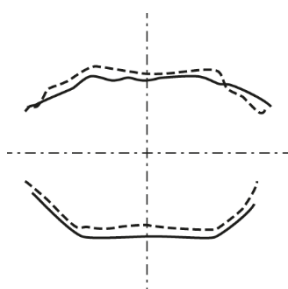


Рисунок 3.44 – Границы сечений форм цифровых двойников и материальных образцов семейства МК1, где цифровой двойник – пунктирный контур, материальный образец – сплошной контур

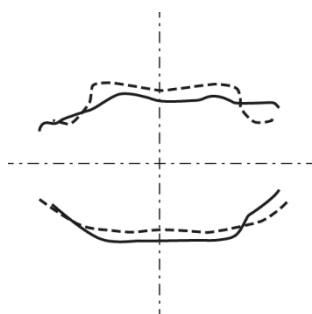
Сечения на уровне грудного
конструктивного пояса



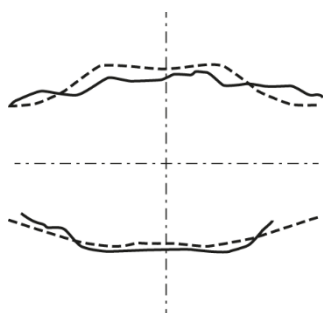
МК2_1 силуэта «прямоугольник» малого объема



МК2_2 силуэта «прямоугольник» среднего объема



МК2_3 силуэта «прямоугольник» объема больше среднего



МК2_4 силуэта «прямоугольник» большого объема

Сечения на уровне коленного
конструктивного пояса

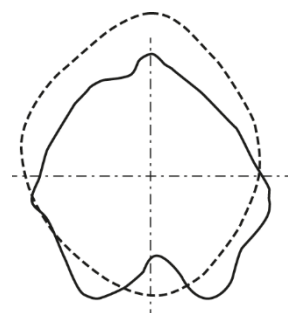
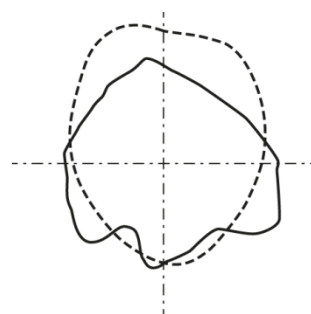
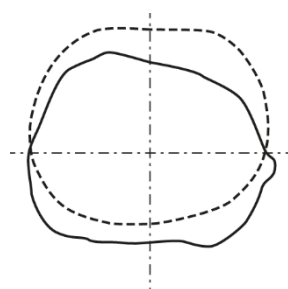
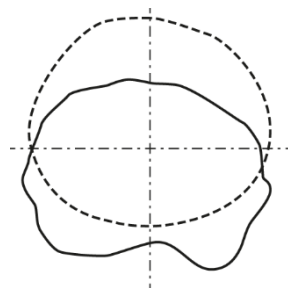
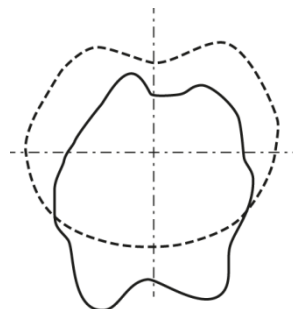
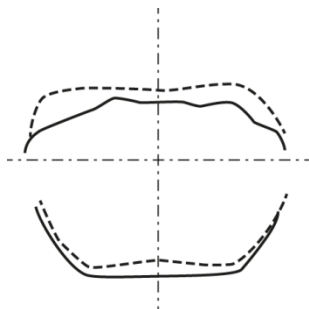


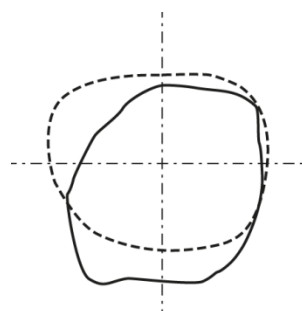
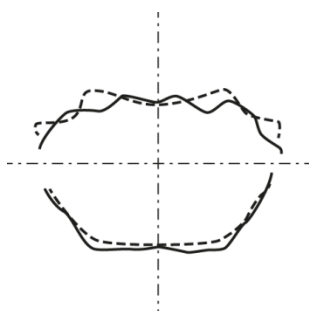
Рисунок 3.45 – Границы сечений форм цифровых двойников и материальных образцов семейства МК2, где цифровой двойник – пунктирный контур, материальный образец – сплошной контур

Сечения на уровне грудного
конструктивного пояса

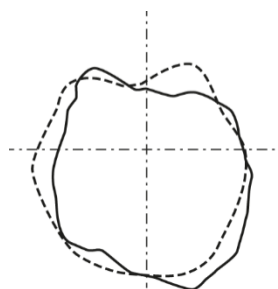
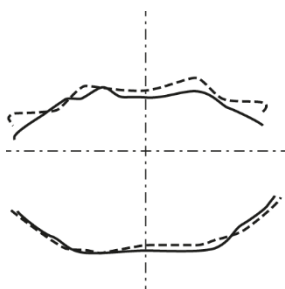
Сечения на уровне коленного
конструктивного пояса



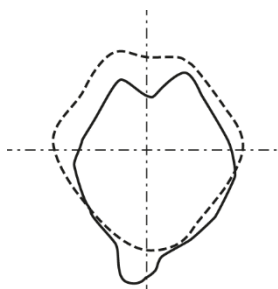
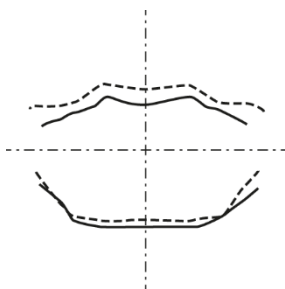
МКЗ_1 силуэта «овал» объема больше среднего



МКЗ_2 силуэта «овал» среднего объема



МКЗ_3 силуэта «овал» малого объема



МКЗ_4 силуэта «овал» большого объема

Рисунок 3.46 – Границы сечений форм цифровых двойников и материальных образцов семейства МКЗ, где цифровой двойник – пунктирный контур, материальный образец – сплошной контур

Таблица 3.12 – Сравнительный анализ количественных значений периметров и площадей контуров сечений форм на уровне грудного и коленного конструктивных поясов моделей семейств МК1, МК2 и МК3

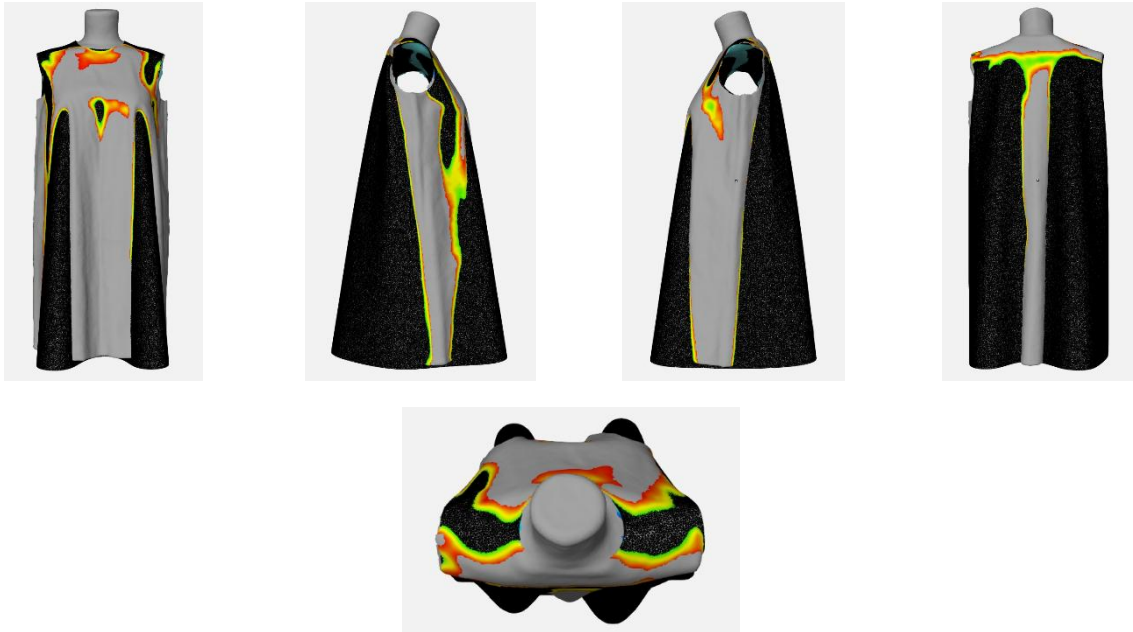
Код модели	Степень визуальной идентичности, установленная методом экспертной оценки	$\Delta P, \%$			$\Delta S, \%$		
		Грудной КП	Коленный КП	$\bar{\Delta}$	Грудной КП	Коленный КП	$\bar{\Delta}$
МК1_1	высокая степень идентичности	0,45	-7,37	-3,46	3,00	-26,42	-8,56
МК1_2	высокая степень идентичности	13,56	-5,90	3,83	8,03	5,36	2,83
МК1_3	высокая степень идентичности	6,59	-10,51	-1,96	3,20	8,26	-0,25
МК1_4	совершенно идентичны	5,27	-8,75	-1,74	2,44	7,91	-0,04
МК2_1	совершенно идентичны	-5,12	0,62	-2,25	-5,32	-10,99	-4,49
МК2_2	совершенно идентичны	0,13	0,08	0,10	3,28	-5,12	-0,41
МК2_3	совершенно идентичны	-3,72	0,88	-1,42	-1,44	-16,52	-4,63
МК2_4	совершенно идентичны	-2,99	-0,20	-1,59	-8,10	-19,41	-7,33
МК3_1	совершенно идентичны	-2,47	-0,93	-1,70	8,31	84,30	22,49
МК3_2	совершенно идентичны	-1,81	-0,23	-1,02	0,78	-3,41	-0,97
МК3_3	совершенно идентичны	-7,00	-0,29	-3,65	-6,16	26,25	4,04
МК3_4	совершенно идентичны	-7,16	-0,47	-3,82	-10,23	-16,89	-7,85

Анализ количественных значений периметров и площадей контуров сечений форм на уровне грудного и коленного конструктивных поясов моделей семейств МК1, МК2 и МК3, приведенный в таблице 3.12, позволил установить разницу периметров $\pm 0 \div 3,83\%$, разницу площадей – $-8,56 \div 22,49\%$.

Полученные значения не выявляют зависимости между степенью визуальной идентичности формы цифровых моделей и материальных образцов и степенью сходства их сечений на уровне грудного и коленного конструктивного поясов. Разница в количественных значениях периметров и площадей сечений варьируется в широком диапазоне при одной и той же степени визуальной идентичности форм. Следовательно, можно сделать вывод, что данный показатель не может быть использован для оценки степени визуальной идентичности внешней формы цифровой модели и материального образца.

Для проведения анализа изометрии форм цифровых трехмерных моделей одежды и 3D сканов материальных образцов (оценка идентичности воспроизведения геометрического вида, степени объемности и ширины формы) цифровые формы в программе трехмерного моделирования Blender выровнены по вертикальной и горизонтальной осям и совмещением горловин в точке основания шеи. Для сравнения использована программа Gom Inspect Suite (Free), которая позволяет оценить качество цифровых 3D моделей, сравнивая CAD-модели с моделями 3D-сканирования. Цифровые формы цифровых и реальных моделей попарно импортированы в программу и произведено автоматическое сравнение по шкале от -5 до 5 мм. Шкала отражает отклонение фактической модели (3D-скан материального образца) от номинальной модели (3D модель цифрового двойника, созданная в программе Clo3D) градиентными цветами: синий (недостаток), голубой, зеленый (совпадение), желтый, красный (избыток).

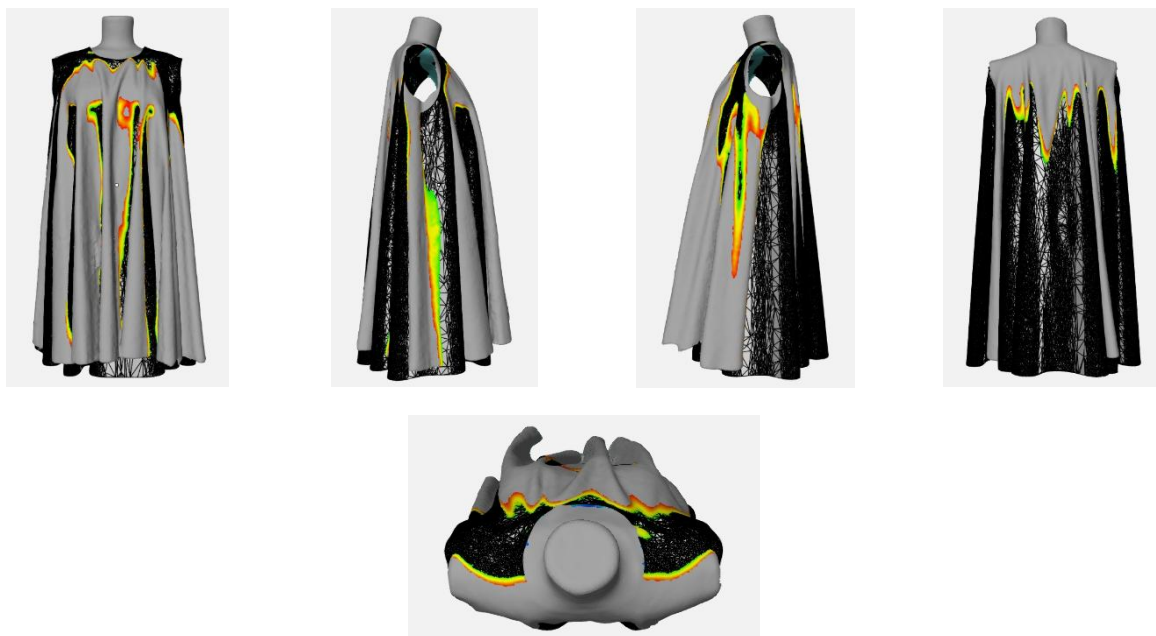
Попарное сравнение цифровых форм цифровых двойников и материальных образцов семейств МК1, МК2 и МК3 (рис. 3.47-3.49) позволило сделать следующие заключения, что: 1) цифровые двойники и материальные образцы имеют похожие объемно-пространственные формы выше грудного конструктивного пояса, т.к. данная поверхность для моделей является опорной и на данном участке имеется наибольшая степень прилегания изделия к поверхности субъекта проектирования, за исключением моделей МК1_4 и МК2_2; 2) объемно-пространственные формы цифровых двойников и материальных образцов в целом воспроизводят идентичный геометрический вид спереди и сзади; 3) формообразование рельефа поверхности цифровых двойников и материальных образцов в области наибольшего соприкосновения модели с опорной поверхностью субъекта проектирования подобно, о чем свидетельствуют изображения моделей семейства МК1 (на видах сзади и спереди) и модели семейств МК2 и МК3 (на видах слева, справа и сзади), однако в зоне свободного формообразования цифровой материал имеет отличную от материального формообразующую способность: на видах спереди фалды цифровых двойников семейства МК1 имеют выпуклую форму, а материальных образцов – выпукло-вогнутую, а на видах сзади геометрическая форма фалд цифровых двойников и материальных образцов идентична – выпуклая. Таким образом, сравнительный анализ внешней формы цифровых 3D форм моделей женской однослойной плечевой одежды разных силуэтно-объемных форм в программе Gom Inspect Suite свидетельствует о том, что объектно-инструментальный функционал программы Clo3D достаточно хорошо воспроизводит геометрический вид и степень объемности, однако ориентация поверхностей форм проектируемых изделий в пространстве и их рельеф (особенно трапецевидного силуэта как больших, так и малых объемов в зоне свободного формообразования) может иметь визуальные и геометрические отличия от аналогичных характеристик реальных образцов проектируемых изделий.



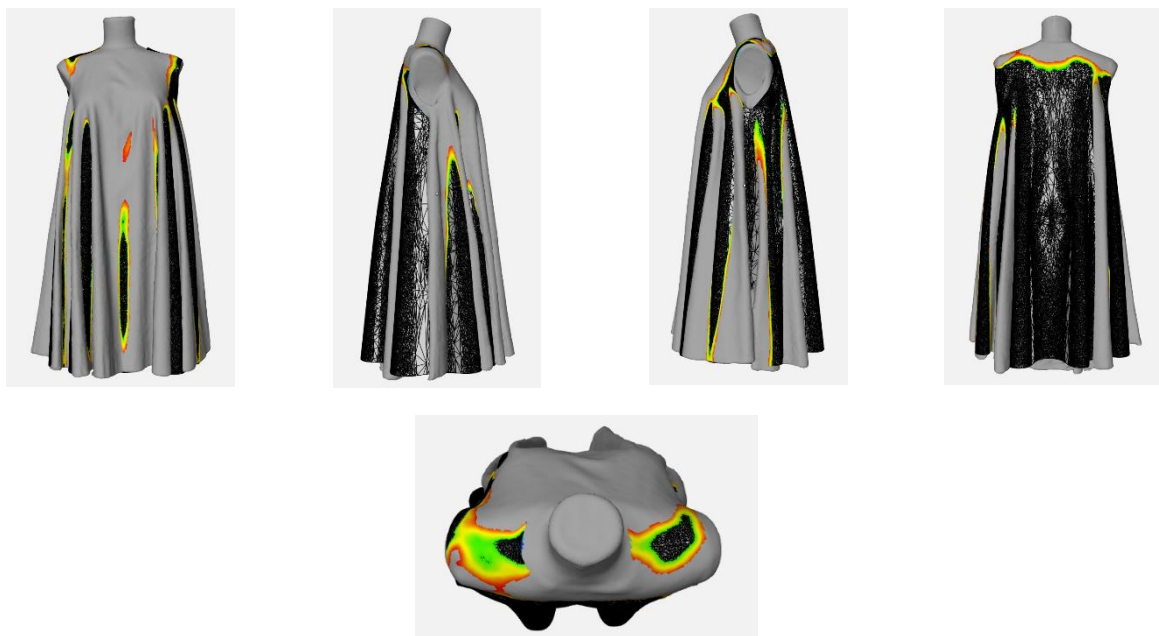
МК1_1 силуэта «трапеция» малого объема (вид спереди, справа, слева, сзади, сверху)



МК1_2 силуэта «трапеция» среднего объема (вид спереди, справа, слева, сзади, сверху)



МК1_3 силуэта «трапеция» большого объема (вид спереди, справа, слева, сзади, сверху)



МК1_4 силуэта «трапеция» объема больше среднего (вид спереди, справа, слева, сзади, сверху)

Рисунок 3.47 – Наложение цифровых 3D форм цифровых двойников и материальных образцов трапецевидного силуэта



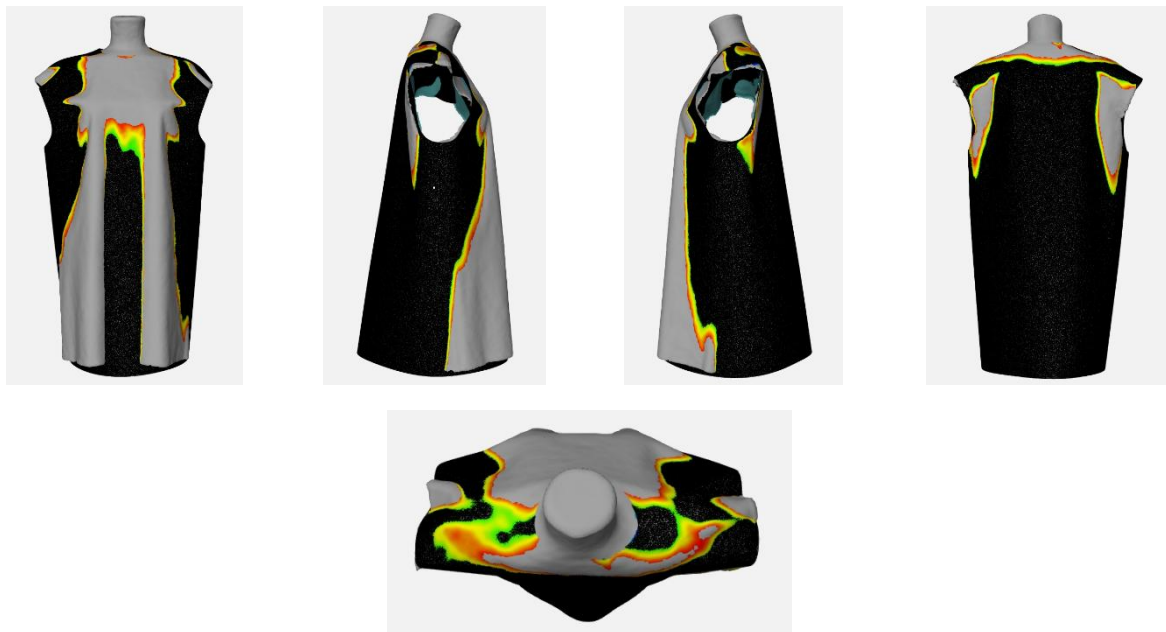
МК2_1 силуэта «прямоугольник» малого объема (вид спереди, справа, слева, сзади, сверху)



МК2_2 силуэта «прямоугольник» среднего объема (вид спереди, справа, слева, сзади, сверху)

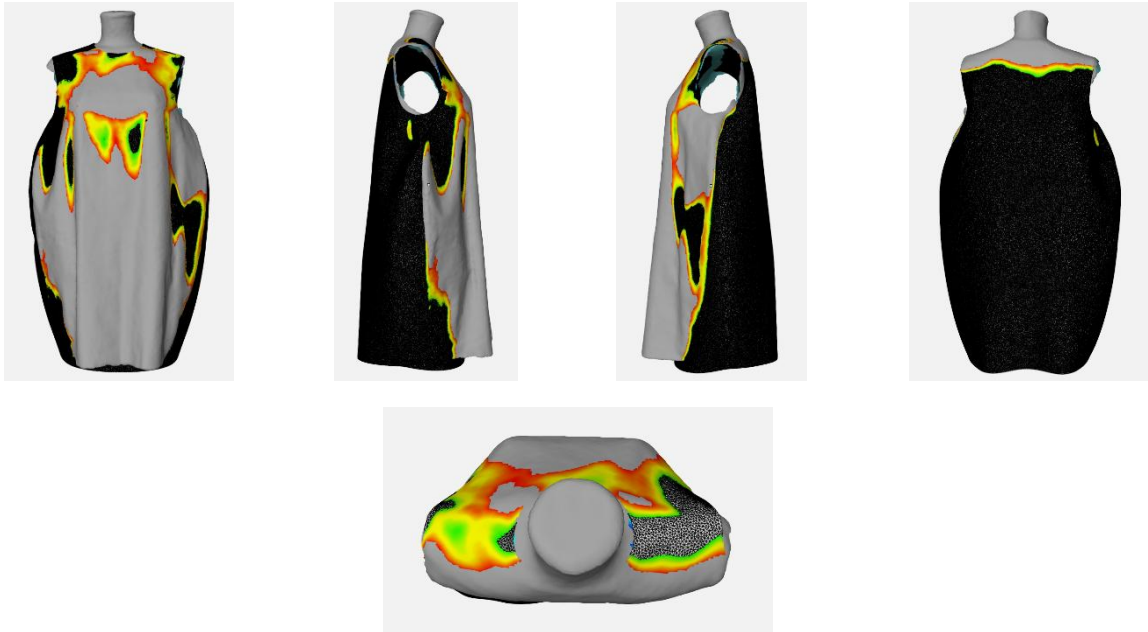


МК2_3 силуэта «прямоугольник» объема больше среднего (вид спереди, справа, слева, сзади, сверху)



МК2_4 силуэта «прямоугольник» большого объема (вид спереди, справа, слева, сзади, сверху)

Рисунок 3.48 – Наложение цифровых 3D форм цифровых двойников и материальных образцов прямого силуэта



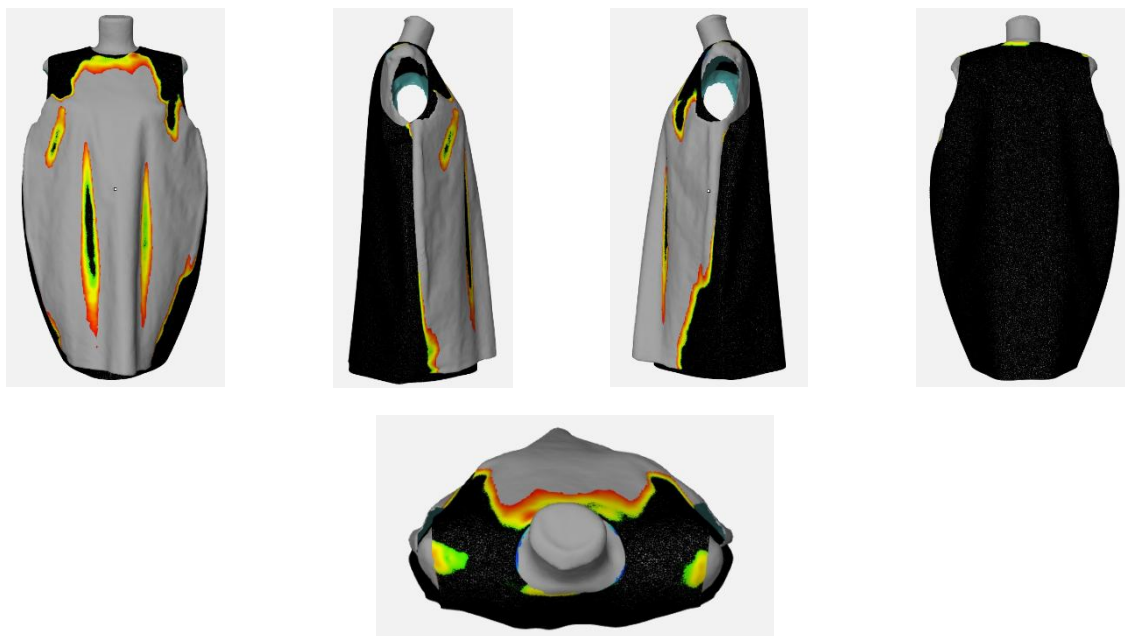
МК3_1 силуэта «овал» объема больше среднего (вид спереди, справа, слева, сзади, сверху)



МК3_2 силуэта «овал» среднего объема (вид спереди, справа, слева, сзади, сверху)



МК3_3 силуэта «овал» малого объема (вид спереди, справа, слева, сзади, сверху)



МК3_4 силуэта «овал» большого объема (вид спереди, справа, слева, сзади, сверху)

Рисунок 3.49 – Наложение цифровых 3D форм цифровых двойников и материальных образцов овального силуэта

В ходе зрительного восприятия внешней формы как цифровых двойников, так и материальных образцов были выявлены конструктивные

дефекты и дефекты моделирования. Проанализировав установленные дефекты, предложены рекомендации по корректировке конструктивных параметров плоских разверток деталей (описанных в параграфе 2.2) для получения в цифровой и реальной средах внешней формы изделий, соответствующей техническому заданию. Рекомендации представлены в Приложении И. В соответствии с разработанными рекомендациями плоские развертки деталей семейств моделей МК1, МК2 и МК3 подвергнуты корректировке и произведены повторные примерки: в реальных условиях на манекен «В», в цифровой среде – на аватар «А». 2D фотоизображения реальной и цифровой примерок после уточнения исходных модельных конструкций приведены в Приложении К. По 2D фотоизображениям реальных образцов и цифровых 3D моделей видно, что разработанные рекомендации по корректировке конструктивных параметров плоских разверток деталей позволили исправить дефекты и получить хорошую визуализацию посадки изделий. А в процессе проведения повторной цифровой примерки установлено, что ввиду незначительного различия опорных поверхностей цифрового и материального субъектов проектирования, для достижения идентичности воспроизведения посадки и внешней формы между цифровыми 3D моделями программы Clo3D на аватаре «А» и материальными образцами на манекене «В» необходимо и достаточно при проведении цифровых примерок разработанных изделий располагать плечевой шов со смещением в сторону спинки на 1-1,5 см. Также отмечено, что после устранения дефектов в целом значительно повысилась степень визуальной идентичности воспроизведения внешней формы и свойств материалов во всех силуэтно-объемных решениях моделей.

3.3. База данных цифровых моделей женской однослойной плечевой одежды

Представленные в предыдущей главе результаты экспериментальной работы по созданию станов женской однослойной плечевой одежды, представленной разными силуэтно-объемными формами, на женскую типовую фигуру второй полнотной группы базового размера 164-92-98 обеспечила возможность получения «отработанных» цифровых разверток деталей базовых конструктивных основ и их симуляций. Наличие цифровых «отработанных» базовых форм одежды позволяет обеспечить создание, преобразование, хранение, распространение и обновление базы данных множества различных как цифровых 3D моделей базовых форм, так и 3D моделей изделий (модельных конструкций) с реалистичной визуализацией.

Практическое решение создания базы данных базовых форм цифровой женской однослойной плечевой одежды реализовано в программе трехмерного проектирования одежды Clo3D (режим «Modular»), которая позволяет создавать и/или преобразовывать конструктивные 2D и 3D решения с заданной степенью разработанности и визуальной реалистичности и последующей записью (включением) в базу данных. База данных имеет древовидную структуру (рис. 3.50) и представляет собой набор связанных папок, где иерархия организована в следующей логической последовательности:

- 0 уровень – родительский каталог;
- 1 уровень – половозрастная группа (например, женская);
- 2 уровень – вид изделия с указанием силуэта (например, платье трапецевидного силуэта);
- 3 уровень – величина объема базовой формы или модели (например, малого объема);

4 уровень – набор базовых форм, моделей (например, базовая форма стана);

5 уровень – набор элементов базовой формы или модели (например, стан).

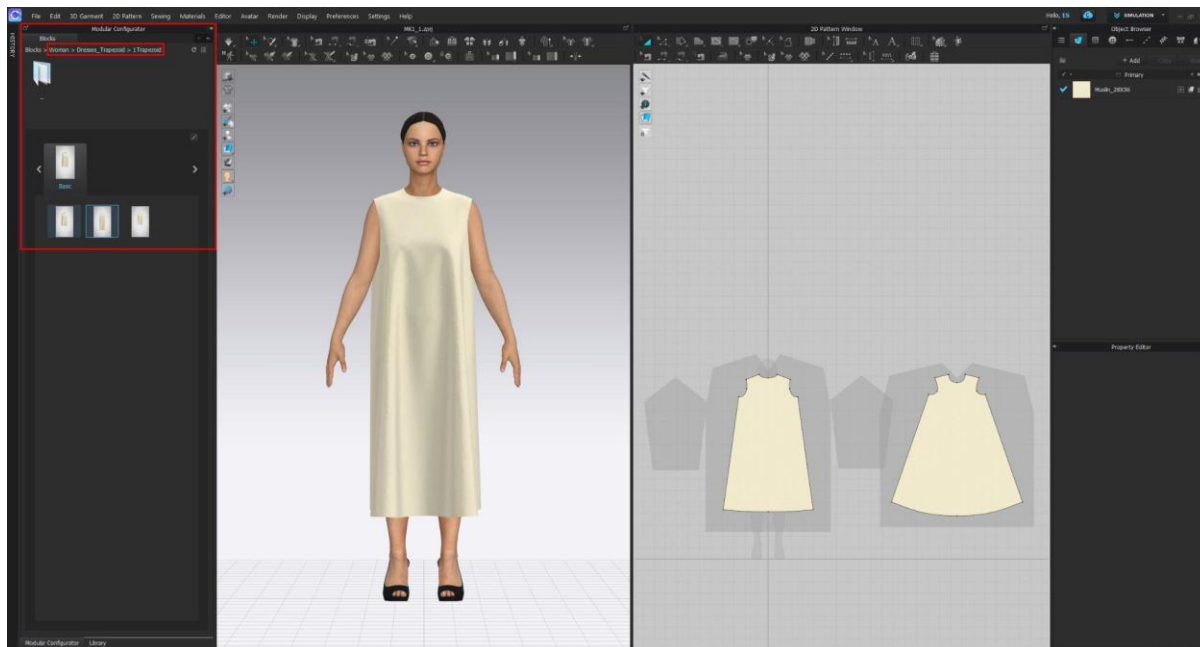


Рисунок 3.50 – Пример отображения структуры базы данных в интерфейсе программы Clo3D

Создать структуру базы данных (набор связанных папок) можно на персональном компьютере пользователя, на котором установлено программное обеспечение Clo3D, через меню «Проводник» сразу в папку программы «Blocks», которая отвечает за организацию библиотеки готовой одежды в режиме «Modular» (например, C:\Users\Public\Documents\CLO\Assets\Blocks\Woman\Dresses_Trapezoid\1Trapezoid). Древоподобная структура базы данных позволяет производить пользовательские настройки организации ее иерархии (перемещать папку в родительский каталог (0 уровень) или добавлять новые папки (2 уровень)), не нарушая общей логики БД.

Базовая форма или модель базы данных состоит из набора элементов. Состав набора элементов определяется исходя из вида и степени разработанности спроектированного изделия. Вид и состав деталей спроектированного изделия, в свою очередь, определяет выбор шаблона (Modular Template Presets) программы Clo3D, который обеспечивает запись информации об изделии в базу данных по его виду и элементному составу. Например, на рисунке 3.51 представлен шаблон для платья, состоящего из деталей воротника (Collar), стана, не имеющего поперечного членения по линии талии (Body), рукавов (Sleeves) и манжет (Cuffs). Наличие того или иного блока в шаблоне не является обязательным условием для его заполнения деталями изделия. То есть, например, при разработке женского платья без рукавов с отложным воротником возможно выбрать для него шаблон платья с блоками воротника, стана, рукавов и манжет, и заполнить плоскими развертками деталей стана (перед и спинка) и воротника только блоки Body (спинка и перед) и Collar (воротник) соответственно.

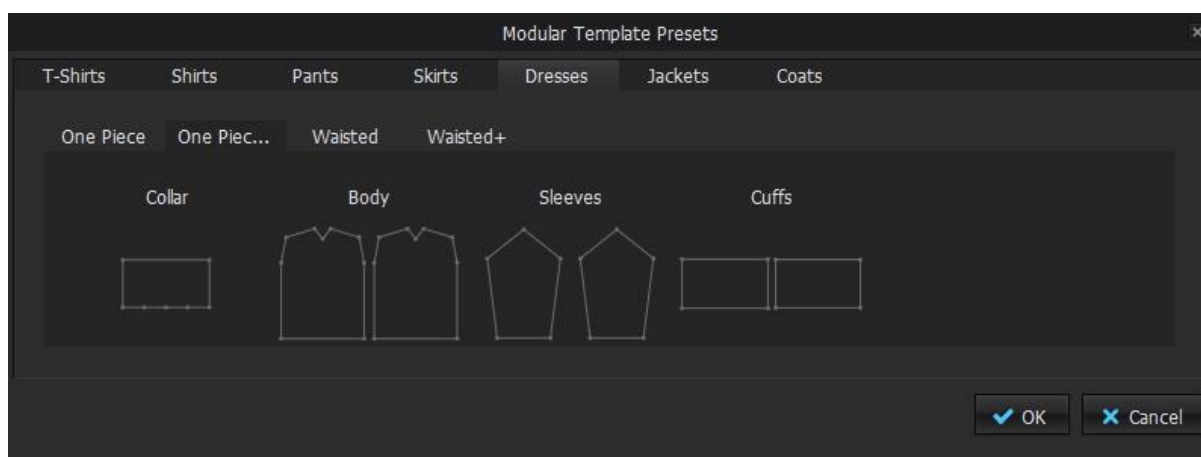


Рисунок 3.51 – Пример шаблона Modular Template Presets для создания модели в структуре базы данных в интерфейсе программы Clo3D

Таким образом базовая форма или модель базы данных может быть представлена различным составом наборов элементов. Например, базовая форма женского платья без рукавов может быть представлена только

набором станов, элементный состав которого включает различные вариации стана по длине, по конструктивному решению, по материалу изготовления и т.п. Каждый элемент в наборе базовой формы (модели) состоит из плоских разверток деталей и их 3D модели (объемно-пространственная форма). 3D модель выполнена из цифрового аналога макетной бязи (или ткани по модели), симулирована на базовом аватаре «А» программы Clo3D (размерные параметры соответствуют базовому размеру 164-92-98) и визуализирована в реалистичное 2D изображение для создания превью (миниатюры модели в каталоге Modular Configurator интерфейса программы).

База данных «отработанных» базовых форм и моделей по мере разработки новых моделей, в т.ч. других половозрастных групп, ассортиментных групп и видов изделий, может быть дополнена путем включения новой папки, содержащей информацию по новой модели, в нужное место дерева структуры базы данных.

Разработанная в рамках данного исследования база данных содержит 36 базовых форм, по 12 моделей каждого силуэта – трапецевидного, прямого и овального, разных объемов и разной длины. На основе представленных базовых форм создано 12 моделей плечевых изделий разных силуэтно-объемных и конструктивных решений, отражающих современные модные тенденции по соотношению силуэтных форм и их объемов и учитывающих потребительский запрос. Они могут быть использованы в том виде, как есть в базе данных, или преобразованы путем расширения элементного состава формы дополнительными функциональными и декоративными частями. Так как базовые формы и модели разработаны на типовую фигуру второй полнотной группы базового размера 164-92-98 и даны рекомендации по достижению идентичности визуализации цифровой примерки, то созданная база данных может быть внедрена на предприятия по массовому производству женской одежды

второго слоя, что позволит сократить производственные затраты на отработку базовой формы новых моделей и создание исходных модельных конструкций изделий.

3.4. Алгоритм технологии создания и преобразования цифровых двойников женских платьев разных силуэтно-объемных форм

В параграфе 1.4 представлена формализация единой технологии создания и/или преобразования цифровой формы 3D моделей одежды (рис. 1.19), которая легла в основу разработки алгоритма создания и преобразования цифровых двойников женских платьев разных силуэтно-объемных форм на типовую фигуру базового размера 164-92-98. (рис. 3.52) [162].

Особенностью процесса проектирования на основе представленного алгоритма является возможность использования созданной базы данных плоских разверток деталей женских платьев разных силуэтно-объемных форм и их симуляций, а также преобразование их силуэтно-объемной формы приемами конструктивного моделирования и проведение оценки результата цифрового проектирования с учетом разработанной методики.

Алгоритм отображает краткое содержание этапов процесса проектирования моделей цифровой одежды.

Первые два этапа определяют цель и задачи проектирования (первый этап), которые задают разработку/построение проектного образа, выраженного вербально/невербально в аналоговом или цифровом виде на основе технического задания и/или как результат творческого процесса (второй этап). Предложенные данные являются исходными для создания цифровой 3D модели.

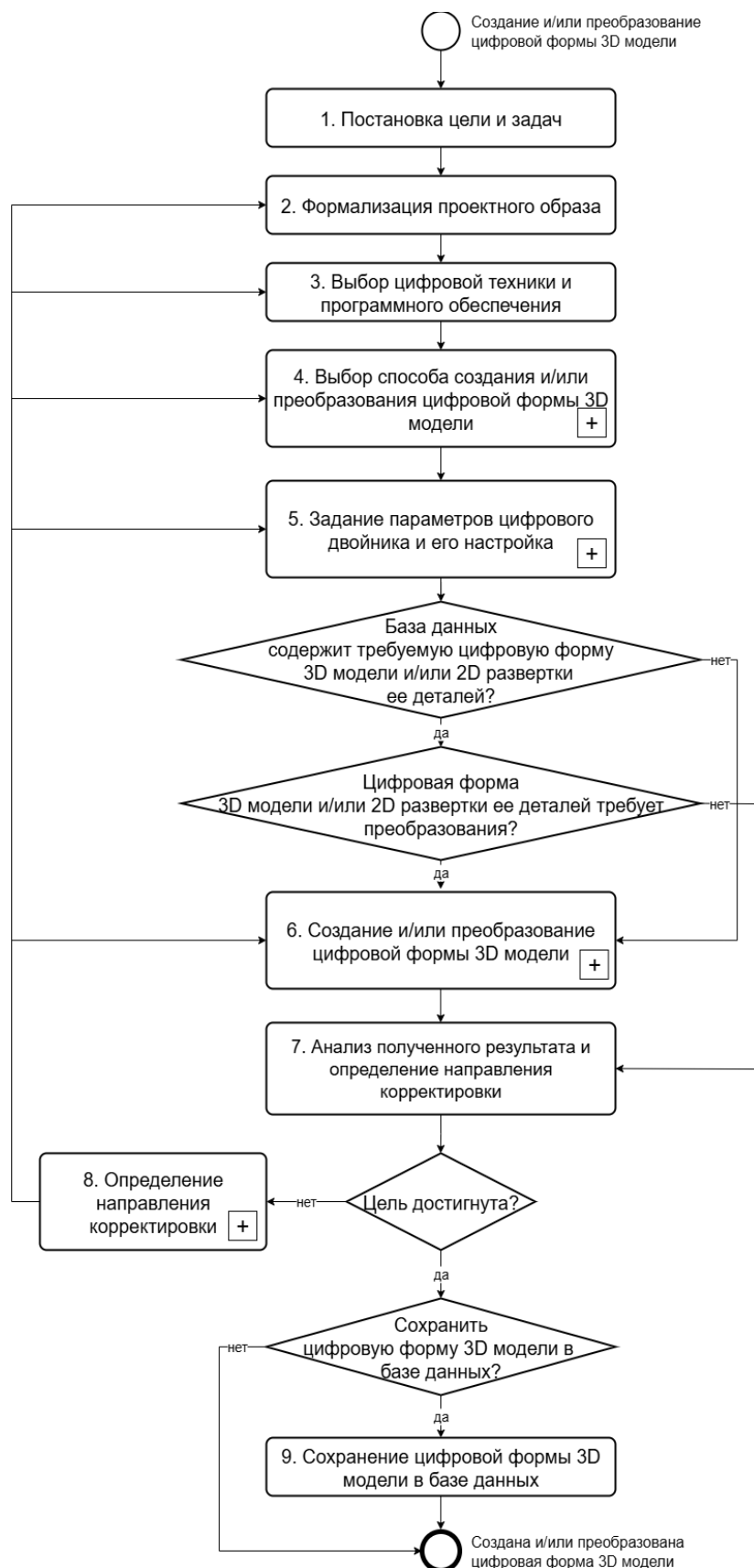


Рисунок 3.52 – Схема алгоритма технологии создания и преобразования цифровых моделей женской однослойной плечевой одежды разных силуэтно-объемных форм

На третьем этапе определяется набор цифровой техники и программного обеспечения, необходимых для создания цифровой формы 3D модели, заданной исходными данными. Выбор цифровой техники и программного обеспечения регулируется формами представления цифровых 3D моделей одежды: Ц-Ц и Ц-Ф.

Четвертый этап отвечает за выбор способа создания и/или преобразования цифровой формы 3D модели в зависимости от исходных данных и выбранного набора цифровой техники и программного обеспечения.

На пятом этапе осуществляется задание параметров цифрового двойника фигуры (субъекта проектирования) и его настройка в соответствии с размерными признаками и параметрами формы заданной фигуры в выбранном программном обеспечении. Для этого предложены виды цифровых двойников (с точными или приближенными параметрами формы фигуры) и формы их представления (трехмерная модель типовой или индивидуальной фигуры).

Формализация обращения к базе данных плоских разверток и симуляций реализуется между пятым и шестым этапами алгоритма на основе двух логических условий. Согласно первому условию, определяется наличие необходимой цифровой формы 3D модели в базе данных и принятие решения о ее использовании.

Если необходимая цифровая форма 3D модели содержится в БД, то осуществляется переход ко второму логическому условию, вопрос которого позволяет проанализировать имеющуюся в базе данных 3D форму на предмет необходимости ее преобразования и определить следующее действие: 1) использовать форму без преобразования и перейти к седьмому этапу; 2) преобразовать форму и перейти к шестому этапу для реализации процедур преобразования.

Если база данных не содержит требуемой цифровой формы 3D модели, осуществляется переход на шестой этап, на котором осуществляются процедуры создания. В зависимости от выбранного на четвертом этапе способа создания цифровой формы осуществляются действия, подробно описанные в параграфе 1.3.

На седьмом этапе цифровой результат анализируется на соответствие поставленной цели. Если цель и задачи достигнуты, то дальнейший процесс проектирования предполагает решение логического условия о включении или невключении новой цифровой формы модели в базу данных. При отрицательном решении процесс проектирования считается завершенным, а при положительном решении – модель сохраняется в базу данных.

Если результат не соответствует поставленным цели и задачам, то осуществляется переход к восьмому этапу, на котором определяется направление корректировки цифровой формы 3D модели и переход к установленному этапу для внесения изменений. С этого этапа алгоритм реализуется повторно до тех пор, пока не будет достигнут требуемый цифровой результат.

В таблице 3.13 представлено верхнеуровневое описание технологии создания и/или преобразования цифровой формы 3D модели одежды.

Таблица 3.13 – Верхнеуровневое описание технологии создания и/или преобразования цифровой формы 3D модели одежды

Номер и название этапа процесса	Описание шага	Вход	Выход
1	2	3	4
1. Постановка цели и задач.	На данном шаге происходит формулирование цели создания и/или преобразования цифровой формы 3D модели, постановка задач для достижения поставленной цели.	– Описание целеполагающего вопроса.	– Сформулирована цель. – Определены задачи.
2. Формализация проектного образа.	Происходит разработка проектного образа, выраженного вербально/невербально элементами одежды и/или их сочетаниями в аналоговом или цифровом виде на основе технического задания или как результат творческого процесса, в соответствии с поставленными целью и задачами.	– Запрос на разработку проектного образа 3D модели.	– Формализован проектный образ, т.е. выделены его параметры.

Продолжение таблицы 3.11

1	2	3	4
3. Выбор цифровой техники и программного обеспечения.	Осуществляется выбор цифровой техники и программного обеспечения для реализации цифровой формы 3D модели, который обуславливается оптимальным составом инструментов той техники и того ПО, которые позволяют решить поставленные задачи.	– Запрос на определение набора цифровой техники и программного обеспечения исходя из цели создания 3D модели и на основе параметров проектного образа.	– Выбран набор цифровой техники и программного обеспечения.
4. Выбор способа создания и/или преобразования цифровой формы 3D модели.	Определяется способ создания и/или преобразования цифровой формы 3D модели. Выбор способа основывается, исходя из инструментов выбранной цифровой техники и программного обеспечения, а также уровня владения специалистом данным программным обеспечением.	– Запрос на определение способа создания и/или преобразования цифровой формы 3D модели.	– Выбран способ создания и/или преобразования цифровой формы 3D модели: ○ «от 2D развертки деталей к 3D форме»; ○ «от 3D формы к 2D развертке деталей».

Продолжение таблицы 3.11

1	2	3	4
5. Задание параметров цифрового двойника фигуры (субъекта проектирования) и его настройка.	Происходит принятие решения о необходимости использования цифрового двойника, задание параметров цифрового двойника и его настройка в соответствии с размерными признаками и параметрами формы заданной фигуры в выбранном программном обеспечении.	– Запрос на определение необходимости использования цифрового двойника. – Набор размерных признаков и параметров формы фигуры.	– Выбран вид цифрового двойника: ○ с точными параметрами формы фигуры; ○ с приближенными параметрами формы фигуры. – Заданы параметры цифрового двойника и произведена его настройка в соответствии с набором размерных признаков и параметров формы фигуры: ○ трехмерная модель типовой фигуры (аватар и/или 3D манекен); ○ трехмерная модель индивидуальной фигуры (аватар и/или 3D манекен).

Продолжение таблицы 3.11

1	2	3	4
Логическое условие. Обращение к базе данных 2D разверток деталей и 3D моделей.	Определяется наличие в базе данных требуемой цифровой формы 3D модели. Происходит принятие решения об использовании цифровой формы из базы данных и необходимости ее преобразования.	– БД с 2D развертками деталей и 3D моделями. – Запрос на определение наличия требуемой цифровой формы 3D модели в БД.	– Выбрана цифровая форма: ○ для использования без преобразования; ○ для дальнейшего преобразования; ○ не выбрана.
6. Создание и/или преобразование цифровой формы 3D модели.	На данном этапе создается и/или преобразуется цифровая форма 3D модели с использованием выбранных выше цифровой техники и программного обеспечения в соответствии с выбранным выше способом ее создания и/или преобразования.	– Запрос на создание и/или преобразование цифровой формы 3D модели.	– Создана и/или преобразована цифровая форма 3D модели.
7. Анализ полученного результата.	Происходит анализ визуализации цифровой формы 3D модели в соответствии с поставленными целью и задачами.	– Запрос на соответствие визуализации цифровой формы 3D модели поставленным цели и задачам.	– Цель достигнута (завершение технологии) – создана и/или преобразована цифровая форма 3D модели. – Цель не достигнута (технология не завершена) – запрос на определение направления корректировки.

Окончание таблицы 3.11

1	2	3	4
8. Определение направления корректировки.	Поэтапная проверка полученной визуализации цифровой формы 3D модели на соответствие формализованному проектному образцу, выбранной цифровой технике и программному обеспечению, заданному субъекту проектирования, выбранному способу создания и/или преобразования цифровой формы 3D модели.	– Запрос на определение соответствия: ○ проектному образцу; ○ выбранной цифровой технике и программному обеспечению; ○ выбранному способу создания и/или преобразования цифровой формы 3D модели; ○ заданным параметрам цифрового двойника; ○ созданной и/или преобразованной цифровой формы 3D модели.	– Выполнена корректировка: ○ проектного образа; ○ цифровой техники и программного обеспечения; ○ способа создания и/или преобразования; ○ параметров цифрового двойника и его настройки; ○ создания и/или преобразования цифровой формы 3D модели.
9. Сохранение цифровой формы 3D модели в базе данных.	Реализация логического условия необходимости сохранения созданной и/или преобразованной цифровой формы 3D модели в базе данных.	– Запрос на определение необходимости сохранения цифровой формы 3D модели в БД.	– Выполнено: ○ сохранение цифровой формы 3D модели в БД; ○ отказ от сохранения.

Выводы по главе 3

1. Предложена методика оценки цифровых двойников женских платьев. Определены групповые показатели оценки: корректность формализации проектного образа; корректность выбора цифровой техники и программного обеспечения; корректность выбранного способа создания и/или преобразования цифровой формы 3D модели; корректность задания параметров цифрового двойника и его настройки; корректность полученной цифровой формы 3D модели. Для оценки каждого группового показателя разработаны единичные показатели с указанием коэффициентов их весомости и критерии оценки, определяющие уровень соответствия или не соответствия показателя: полное соответствие, высокая степень соответствия, умеренная степень соответствия, низкая степень соответствия, не соответствует. Экспертная оценка показателей осуществляется на основе условной 5-ти балльной шкалы по принципу семантического дифференциала, составленной на основе выделенных критериев. Суммарное значение оценки по всем групповым показателям определяет уровень достижения результата: 30-40 – результат достигнут, цифровой двойник соответствует всем заданным параметрам; 20-29 – требуется незначительная доработка полученного результата, цифровой двойник имеет высокую степень соответствия заданным параметрам; 10-19 – требуется существенная доработка полученного результата, цифровой двойник имеет удовлетворительную степень соответствия заданным параметрам; ниже 10 – требуется переработка, цифровой двойник не соответствует заданным параметрам.

2. Согласно полученным результатам экспертной оценки девять разработанных моделей из двенадцати характеризуются тем, что результат достигнут и цифровые двойники по всем показателям соответствуют заданным параметрам. Модели МК2_3, МК2_4 и МК3_1 имеет высокую

степень соответствия заданным параметрам, но требуется незначительная доработка полученного результата.

3. Разработана методика экспертной оценки визуальной идентичности внешней формы цифрового двойника женского платья материальному изделию. Определены показатели визуальной идентичности: идентичность внешних форм по геометрическому виду; идентичность внешних форм по величине; идентичность внешних форм по массе; идентичность фактуры материала; идентичность пластичности материала; идентичность количества фалд поверхности формы; идентичность формы и направления фалд поверхности формы. Для каждого показателя разработаны коэффициенты их весомости и критерии оценки, определяющие уровень соответствия или не соответствия показателя: полное соответствие, высокая степень соответствия, умеренная степень соответствия, низкая степень соответствия, не соответствует. Суммарное значение баллов по каждому показателю определяет уровень визуальной идентичности внешней формы цифровой модели одежды и материального образца: 4,01-5 – совершенно идентичны; 3,01-4 – высокая степень идентичности; 2,01-3 – умеренная степень идентичности; 1,01 2 – низкая степень идентичности, 0-1 – не идентичны.

4. Создана база данных цифровых моделей плоских разверток деталей и симуляций женской однослойной плечевой одежды на типовую фигуру базового размера 164-92-98. Практическое решение базы данных реализовано в программе трехмерного проектирования одежды Clo3D (режим «Modular»).

ГЛАВА 4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА РАЗРАБОТАННОЙ ТЕХНОЛОГИИ

В данной главе представлены результаты апробации разработанной технологии с использованием программ трехмерного проектирования специального (Assyst, Style3D) и общего (3ds Max) назначения в ходе проектирования плечевых и поясных изделий. Проведена производственная апробация, которая подтвердила возможность внедрения технологии в производственный процесс промышленного предприятия и выполнены расчеты экономической эффективности ее внедрения. Результаты данной главы опубликованы в двух статьях [163, 164].

4.1. Апробация разработанной технологии при создании моделей женских платьев с применением различных цифровых образцов материалов

Апробация разработанной технологии создания и преобразования моделей одежды разных силуэтно-объемных форм проведена в условиях цифровой среды программы Clo3D при разработке моделей женских платьев на основе полученных базовых конструктивных основ с применением различных цифровых образцов материалов и приемов конструктивного моделирования.

В процессе разработки изделий произведено выполнение логического условия – обращение к базе данных 2D плоских разверток деталей и выбор базовых форм для дальнейшего преобразования. В результате выполнения логического условия выбраны плоские развертки деталей: МК1_1, МК1_2 и МК1_4 базовых форм силуэта «трапеция»; МК2_1, МК2_2 и МК2_3 силуэта «прямоугольник» и МК3_3 силуэта «овал». В ходе преобразования

к выбранным базовым формам применены следующие приемы конструктивного моделирования:

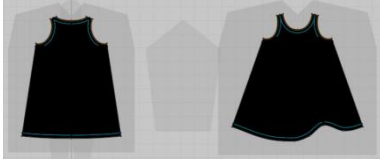
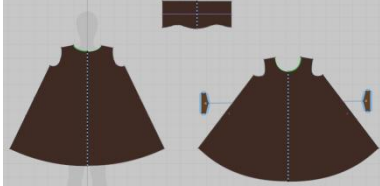
- изменение конфигурации горловины: V-образный, круглый, каре;
- изменение конфигурации линии низа;
- изменение длины;
- фантазийное поперечное членение деталей стана на участке линии груди, линии талии и ниже линии бедер;
- продольное членение деталей переда для построения застежки: сквозная и глухая на пуговицах, застежка-поло на кнопках;
- построение воротников: плосколежащий воротник «питерпэн», воротник-хомут, стояче-отложной, английский воротник, лацкан, цельнокроеный с полочкой, матросский воротник;
- построение рукава: рукав-крылышко;
- построение дополнительных функционально-декоративных элементов: карманы, цветок-волан;
- построение пояса на эластичной кулиске.

В качестве цифровых двойников текстильных материалов для разрабатываемых модельных изделий из библиотеки программы Clo3D выбраны: тафта, крепдешин, атлас, органза, эко-кожа, рибана, джерси, лен.

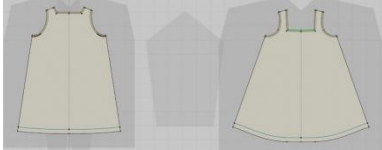
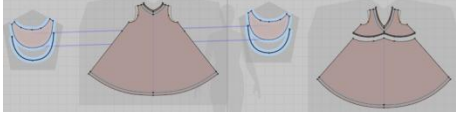
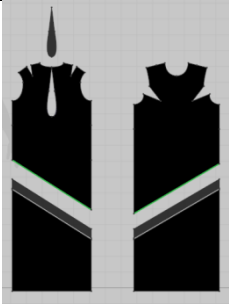
В таблице 4.1 приведена характеристика каждой разработанной модели, включающая: информацию о размерных признаках субъекта проектирования (аватара, соответствующего типовой фигуре с заданными размерными признаками); плоские развертки деталей базовой формы; плоские развертки модельной конструкции; наименование цифрового образца материала и его общие свойства; симуляцию 3D модели.

В результате спроектировано 12 изделий из различных цифровых образцов материалов на основе базовых форм с применением приемов конструктивного моделирования для их преобразования.

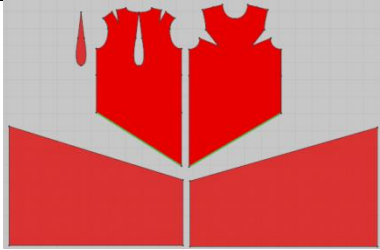
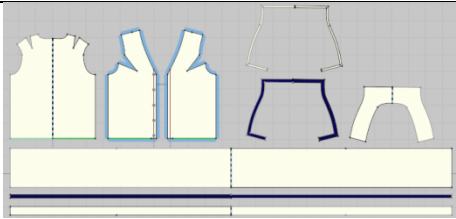
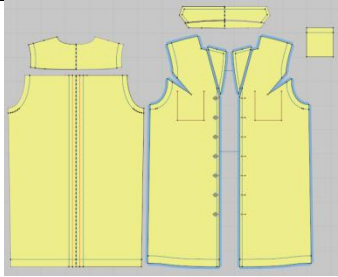
Таблица 4.1 – Характеристика модельных изделий, преобразованных на основе 2D базовых форм БД на типовую фигуру базового размера 164-92-94

Наименование базовой формы из БД	Симуляция цифрового двойника базовой формы	Наименование цифрового двойника текстильного материала Clo3D	Общие свойства цифрового двойника текстильного материала Clo3D			2D развертки деталей модельной конструкции	Симуляция цифрового двойника модели
			Состав	Плотность	Толщина		
1	2	3	4	5	6	7	8
МК1_1		Silk Taffeta	100% Silk	76,76 g/m ²	0,16 mm		
МК1_2		Ribana	60% Cotton, 40% Polyester	319,192 g/m ²	0,9 mm		

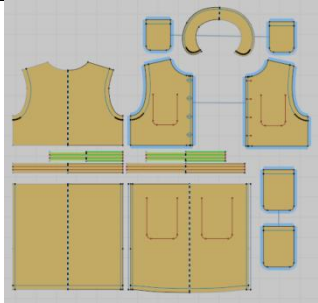
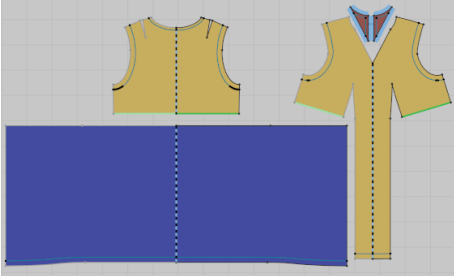
Продолжение таблицы 4.1

1	2	3	4	5	6	7	8
MK1_1		Leather_Lambskin	100% Leather	328,788 g/m ²	0,84 mm		
MK1_4		Silk_Crepede_Chine	100% Silk	69,697 g/m ²	0,2 mm		
		Silk_Organza	100% Silk	23,2323 g/m ²	0,1 mm		
MK2_1		Silk Taffeta	100% Silk	76,76 g/m ²	0,16 mm		
		Silk_Chiffon	100% Silk	27,7778 g/m ²	0,23 mm		

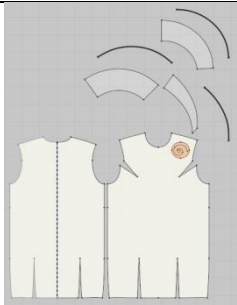
Продолжение таблицы 4.1

1	2	3	4	5	6	7	8
МК2_1		Silk Taffeta	100% Silk	76,76 g/m ²	0,16 mm		
		Silk_Chiffon	100% Silk	27,7778 g/m ²	0,23 mm		
МК2_1		Linen	55% Linen, 45% Cotton	186,869 g/m ²	0,4 mm		
МК2_2		Linen	55% Linen, 45% Cotton	186,869 g/m ²	0,4 mm		

Продолжение таблицы 4.1

1	2	3	4	5	6	7	8
MK2_3		Linen	55% Linen, 45% Cotton	186,869 g/m ²	0,4 mm		
MK2_2		Linen	55% Linen, 45% Cotton	186,869 g/m ²	0,4 mm		
MK3_2		Jersey	60% Cotton, 40% Polyester	203,03 g/m ²	0,57 mm		

Окончание таблицы 4.1

1	2	3	4	5	6	7	8
МКЗ_3		Silk Taffeta	100% Silk	76,76 g/m ²	0,16 mm		
			Silk_Organza	100% Silk	23,2323 g/m ²		

Анализ визуализации внешних форм изделий в условиях цифровой среды проектирования показал, что их характеристики идентичны характеристикам исходных базовых форм. Это позволяет сделать вывод об успешности и работоспособности технологии при создании изделий из различных материалов.

4.2. Апробация разработанной технологии при создании плечевой и поясной женской одежды с использованием различных программ трехмерного проектирования

Апробация разработанной технологии создания и преобразования моделей женской однослойной плечевой одежды разных силуэтно-объемных форм проведена в программах трехмерного проектирования одежды специального (Assyst, Style3D) и общего (3ds Max) назначения.

Апробация состояла в проверке возможности создания внешней формы и проведения виртуальной примерки цифровых моделей одежды на примере плечевой и поясной женской одежды, представленной разными силуэтами в разных объемных формах, с использованием программ трехмерного проектирования Assyst, Style3D и 3ds Max.

Апробация включала подготовительный и основной этапы.

На подготовительном этапе создан комплект проектно-конструкторской документации: техническое задание; плоские развертки деталей разных объемных форм; obj-файл с аватаром программы Clo3D с заданными размерными признаками и параметрами формы типовой фигуры базового размера 164-92-98; параметры цифрового образца ткани программы Clo3D.

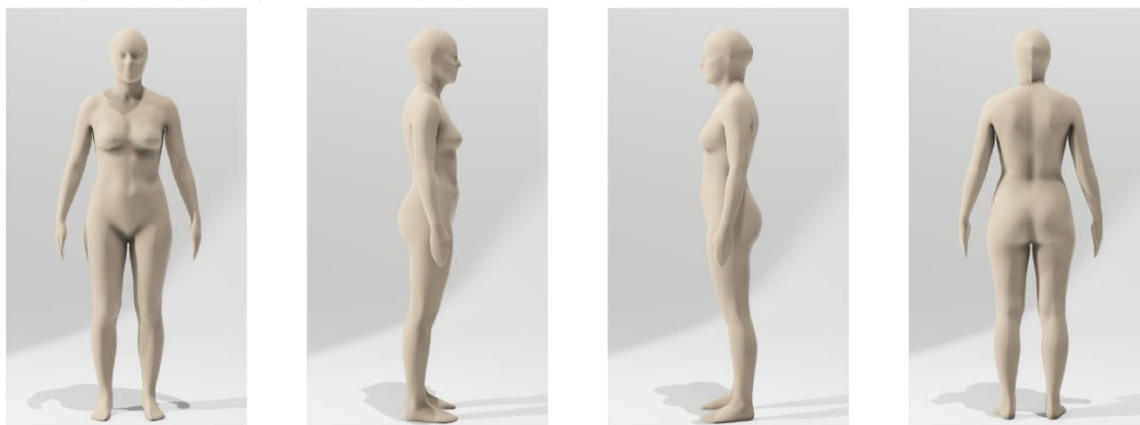
На основном этапе апробации в следующей последовательности реализована разработанная технология:

- определена цель – создание моделей цифровой одежды;

- формализован проектный образ в форме технического задания;
- выбрана цифровая техника и способ создания исходя из программного обеспечения, используемого для апробации;
- заданы параметры аватара программы в соответствии с заданными размерными признаками и параметрами формы типовой фигуры базового размера 164-92-98 (или импорт obj-файла с аватаром программы Clo3D при его отсутствии);
- выбраны плоские развертки деталей разработанной базы данных;
- проведена симуляция формы моделей на аватаре, включая определение швов на конструктивные участки плоских разверток деталей, выбор в библиотеке программы (или импорт в нее сторонних) цифровых образцов тканей и их присвоение деталям плоских разверток модели; проведена цифровая примерка моделей на аватаре; создана объемная визуализация 3D моделей (рендеринг);
- произведена оценка полученных цифровых 3D моделей одежды по критериям, представленным в таблицах 3.1-3.5 и 3.6;
- полученные цифровые модели включены в базу данных (библиотеку готовой одежды) используемой 3D программы.

В ходе основного этапа апробации в программах Assyst и Style3D аватарам программ были заданы размерные признаки и параметры формы типовой фигуры базового размера 164-92-98, а в программу 3ds Max импортирован obj-файл с аватаром программы Clo3D (рис. 4.2).

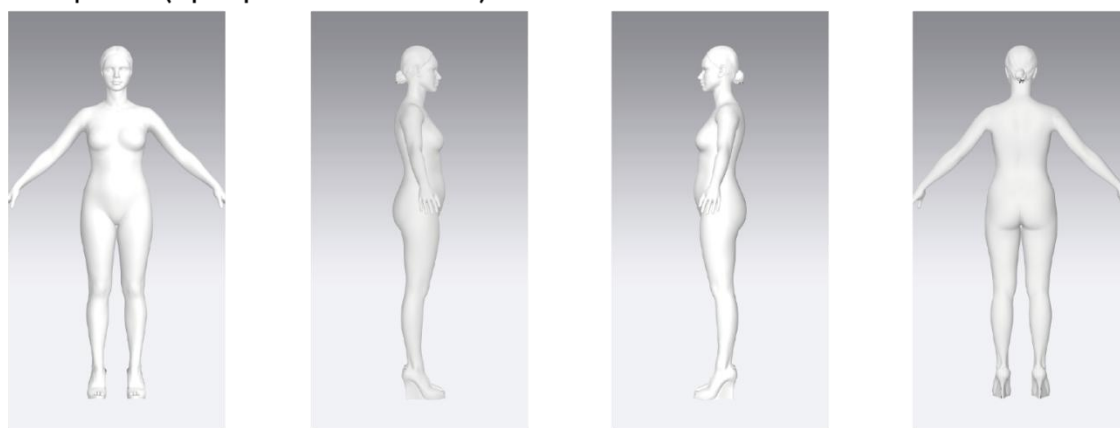
Аватар «В» (программа Assyst)



Аватар «Б» (программа Style3D)



Аватар «Г» (программа 3ds Max)



а) вид спереди

б) вид справа

в) вид слева

г) вид сзади

Рисунок 4.2 – Аватары программ Assyst, Style3D и 3ds Max с заданными размерными признаками и параметрами формы типовой фигуры базового размера 164-92-98 для апробации

Далее последовательно реализованы действия по созданию цифровой внешней формы каждого изделия из семейств моделей МК1, МК2 и МК3. Примеры визуализации цифровых примерок внешних форм изделий

МК1_3, МК2_2 и МК3_2, выполненных в программах Clo3D, Assyst, Style3D и 3ds Max соответственно, представлены на рис. 4.3.



МК1_3 силуэта «трапеция» большого объема (вид спереди)



МК2_2 силуэта «прямоугольник» среднего объема (вид справа)



МК3_2 силуэта «овал» среднего объема (вид сзади)

Рисунок 4.3 – Визуализация цифровой примерки изделий МК1_3, МК2_2 и МК3_2 в программах Clo3D, Assyst, Style3D и 3ds Max

Результаты апробации свидетельствуют о работоспособности разработанной технологии в полном объеме (в т.ч. с созданием базы данных 3D моделей одежды) в программах трехмерного проектирования специального назначения Assyst и Style3D и в режиме импорта плоских разверток деталей для создания объемно-пространственной внешней формы 3D модели на аватаре в 3D программе общего назначения 3ds Max.

Полученные в ходе апробации 2D изображения форм цифровых моделей сопоставлены с фотоизображениями реальных моделей (рис. 2.28-2.30) и проанализированы с позиции зрительного подобия их внешней формы по параметрам: геометрический вид формы, величина формы, масса формы, физико-механические свойства и фактура материала во фронтальной и профильной проекционных плоскостях [163].

Цифровые модели силуэта трапеция имеют значительные различия между собой и реальным образцом. Отличия проявляются в пластичности материала, общем объеме формы, количестве фалд на поверхности изделия и их расположении. Наибольшее визуальное соответствие материального образца и цифровой модели наблюдается в моделях, созданных в программе Assyst.

При сравнении моделей прямого силуэта наибольшее соответствии выявлено у моделей, созданных в программе Style3D. В цифровых моделях, созданных в программе Assyst, наблюдается незначительное различие силуэтной формы от материального образца. При этом важно отметить, что модели визуализируют изделия МК2_1-МК2_3 прямого силуэта как во фронтальных, так и в профильных проекциях, а остальные модели и материальный образец (несмотря на прямой крой изделий) во фронтальных плоскостях представляют изделия как зауженные к низу, в сагиттальных – как трапецевидного силуэта. Также модели, созданные в программе Assyst, имеют заломы на спинке, которые отсутствуют на реальном образце

и моделях других программ, но могут быть обусловлены наличием и положением рук аватара программы Assyst.

Цифровые модели овального силуэта также имеют отличия в визуализации используемого материала, общем объеме формы, характере фалд на поверхности изделия и их расположении. Внешняя форма моделей, созданных в программе Style3D, наиболее приближена к материальному образцу. Модели, созданные в программе Assyst, производят впечатление чуть более объемных изделий.

Результаты оценки цифровых моделей программ Assyst и Style3D подтверждают достаточно высокую степень визуальной идентичности полученных цифровых моделей и реальных образцов. Однако надо отметить, что программы по-разному воспроизводят свойства применяемых материалов, ввиду чего полученные формы отличаются пластикой и силуэтными линиями. Важно отметить, что несмотря на одинаково заданные параметры, аватары различных программ имеют свои особенности формы, что влияет на посадку изделий, наличие или отсутствие дефектов.

Цифровые модели, созданные в программе общего назначения 3ds Max, имеют существенные отличия в воспроизведении внешней формы изделий всех силуэтно-объемных решений как от материального образца, так и от цифровых моделей, созданных в программах специального назначения. Цифровые модели семейства моделей МК1 во фронтальных и сагиттальных плоскостях визуально воспроизводят проектируемый силуэт – трапециевидный, – однако их параметры величины и массы формы визуально превышают аналогичные параметры реальных образцов данного силуэта. Программное воспроизведение передачи физико-механических свойств материала в образовании рельефа поверхности формы также визуально отличается от реальных образцов изделий. Особенно ярко это можно наблюдать на визуализациях цифровых моделей МК1_2 и МК1_3 в

сагиттальных плоскостях, где образованные фалды имеют большой угол отклонения от вертикальной плоскости свободного падения и характерны для формодержащих материалов, таких как нетканые, синтетические материалы.

Неожиданный результат показали визуализации цифровых моделей семейства МК2. Внешнюю форму прямого силуэта можно наблюдать только для модели МК2_3 во фронтальных плоскостях, остальные модели визуально не передают прямого силуэта разных объемных форм ни во фронтальных, ни в сагиттальных плоскостях. Напротив, на уровне бедренного конструктивного пояса воспроизводят прилегающий силуэт, демонстрируя плотное облегание ягодиц и нижней части живота в моделях малого и среднего объемов.

Визуализации внешней формы цифровых моделей овального силуэта, созданных в программе 3ds Max, во всех плоскостях подобны аналогичным реальным образцам. Наблюдается различие в визуальной передаче физико-механических свойств ткани, так, например, в цифровых моделях изделий МК3_1 и МК3_3 внешние формы имеют более четкие и выраженные границы, в то время как границы внешних форм реальных образцов данных изделий визуально более мягкие, пластичные.

Таким образом, можно сделать вывод, что визуализации внешней формы цифровых моделей разных силуэтно-объемных форм, полученные в программе 3ds Max, имеют значительное несоответствие с внешней формой реальных образцов изделий. В случаях проектирования цифровой одежды при использовании программ общего назначения для получения цифровой визуализации объемно-пространственной структуры проектируемого изделия рекомендуется в обязательном порядке осуществлять проверку полученной цифровой внешней формы на реальном образце.

Аналогично с плечевыми изделиями проведена апробация разработанной технологии для создания внешней формы цифровой поясной

одежды – женская юбка-солнце на типовую женскую фигуру второй полнотной группы базового размера 164-92-98 – в условиях цифровой примерки в программах трехмерного проектирования Clo3D и Style3D и проведена оценка полученного результата с позиции визуальной идентичности воспроизведения внешней формы цифровой 3D модели с реальным образцом [164]. Выбор вида изделия обусловлен проверкой возможности использования разработанной технологии для создания не только плечевых, но и поясных видов изделий сложной объемно-пространственной формы. Объемная форма юбки-солнце с очень расширенной линией низа и большим количеством образования волнообразных фалд также представляет интерес для определения формообразующих способностей инструментария используемых программ и выработки рекомендаций по работе в каждой из них для обеспечения высокой степени визуальной идентичности цифровой модели с реальным образцом. Характеристика внешней формы изделия приведена в таблице 4.2, фотоизображения примерки материального образца из макетной ткани на стан манекена «В» представлены на рис. 4.4, визуализация цифровой примерки представлена на рис. 4.5: цифровая 3D модель создана в Clo3D и надета на аватар «А» (рис. 4.5, а), цифровая 3D модель создана в Style3D и надета на аватар «Б» (рис. 4.5, б).

В ходе апробации сравнение внешней формы цифровых моделей с реальным образцом осуществлено посредством графического анализа контуров линии низа, а оценка визуальной идентичности воспроизведения фактуры и физико-механических свойств материала – посредством проведения экспертной оценки и замеров конструктивных участков 2D разверток деталей и аналогичных участков 3D цифровых моделей и материального образца.

Таблица 4.2 – Характеристика внешней формы юбки-солнце

Критерий	Характеристика
Элементы формы	Цельнокроеное полотнище
Силуэт	Трапеция
Объем	Большой
Членение	Продольное, бесшовное
Ширина низа	Очень расширенная
Уровень линии низа	Выше колена



вид спереди



вид справа



вид слева



вид сзади

Рисунок 4.4 – Фотоизображения примерки материального образца



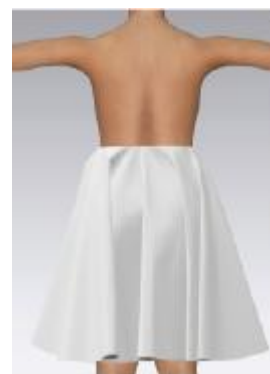
вид спереди



вид справа



вид слева



вид сзади

Рисунок 4.5 а – Визуализация цифровой примерки цифровой 3D модели (Clo3D)



вид спереди

вид справа

вид слева

вид сзади

Рисунок 4.5 б – Визуализация цифровой примерки цифровой 3D модели (Style3D)

Полученные результаты выявили удовлетворительную степень передачи визуального соответствия композиционно-конструктивных признаков модели. При этом наибольшее соответствие в передаче геометрического вида формы, рельефа поверхности, величины и массы формы отмечено у цифровой 3D модели, созданной в программе Style3D. Воспроизведение фактуры поверхности и формовочных способностей цифровых материалов показало разницу между цифровыми моделями юбки-солнце, созданными в разных программах 3D моделирования, выделив значительные преимущества программы Style3D. Детальное описание хода проведения сравнения и полученных результатов приведено в Приложении М. Апробация разработанной технологии на примере создания поясного изделия подтвердила возможность ее использования в проектировании различных видов изделий в условиях включения их базовых форм в базу данных.

4.3. Промышленная апробация технологии и обоснование экономической эффективности ее применения

Производственная апробация предлагаемой в работе технологии (Приложение А) реализована на промышленных предприятиях

ООО «Харизма» и ООО «Сервис-МК». Она подтвердила возможность и эффективность ее внедрения, а также показала, что база данных цифровых 3D моделей одежды разных силуэтно-объемных форм обеспечивает качественную посадку изделий на фигуре и соответствие внешней объемной формы текущим модным тенденциям и потребностям современного российского потребителя.

Под экономической эффективностью промышленного производства может рассматриваться его результативность, оцениваемая соотношением между затратами различных ресурсов (человеческих и материальных) и получаемым при этом эффектом (производственный или социальный результат расходования экономических ресурсов, полученный в течение определенного периода). Эффективность представляет собой величину эффекта, приходящуюся на единицу осуществленных затрат [165]. Она может быть определена как отношение экономического эффекта к затратам и ресурсам, потребленным и примененным средствам производства, или как отношение величины затрат и ресурсов к полученному эффекту.

Общий критерий эффективности производства заключается в экономии общественного труда и повышении его производительности. Так, эффективность от внедрения разработанной технологии создания и преобразования моделей одежды разных объемных форм может быть оценена по следующим показателям:

- сокращение затрат времени конструктора на разработку конструкции новой модели;
- снижение трудоемкости создания новых моделей на этапе художественного проектирования и примерки их макетов;
- сокращение затрат и ресурсов на изготовление опытного/промышленного образца;
- снижение общих затрат времени на разработку проектно-конструкторской документации.

Рассмотрим обоснование экономической эффективности применения технологии создания и преобразования моделей одежды разных объемных форм на примере создания модели платья без рукавов на типовую фигуру базового размера 164-92-98.

Время, затрачиваемое на создание новой модели, складывается из показателей временных затрат на отдельные виды работ. Затраты времени по видам работ определены на основе данных отраслевых норм времени на основные виды работ экспериментального цеха швейных предприятий, разработанных лабораторией научной организации труда и заработной платы Центрального научно-исследовательского института швейной промышленности [166]. Нормы времени рассчитаны для моделей средней сложности и установлены с учетом нормальных условий труда, оснащения рабочих мест необходимыми инструментами и оборудованием применительно к характеру выполняемой работы.

В таблицах 4.3-4.5 приведено время, затрачиваемое командой экспериментального цеха швейного предприятия в составе дизайнера, конструктора, закройщика, лаборанта-портного и технолога на создание новой модели платья при проектировании 1) традиционным методом с использованием САПР без модуля 3D визуализации; 2) традиционным методом с использованием САПР с модулем 3D визуализации; 3) по разработанной технологии с использованием САПР с модулем 3D визуализации.

Таблица 4.3 – Временные затраты дизайнера

№ п/п	Вид операции	Затраты времени на модель, ч.		
		САПР без 3D	САПР с 3D	САПР с 3D БД
1	2	4	5	6

Окончание таблицы 4.3

1	2	3	4	5
1.	Получение и ознакомление с техническим заданием на создание новой модели	1	1	1
2.	Анализ современных модных тенденций	2,5	2,5	2,5
3.	Составление описания внешнего вида, создание художественного и технического эскиза новой модели	14	14	14
4.	Обсуждение и согласование эскиза модели с конструктором	1	1	1
5.	Уточнение и корректировка эскиза модели	0,5	0,5	0,5
6.	Инструктаж лаборанта-портного перед пошивом макета модели	0,5	-	-
7.	Проверка пошива макета модели	0,5	-	-
8.	Представление модели на Худсовете, уточнение и доработка модели	3	3	3
9.	Утверждение модели на Худсовете	1	1	1
Итого:		24	23	23

Таблица 4.4 – Временные затраты конструктора

№ п/п	Вид операции	Затраты времени на модель, ч.		
		САПР без 3D	САПР с 3D	САПР с 3D БД
1.	Обсуждение и согласование эскиза модели с дизайнером	1	1	1
2.	Разработка базовой конструкции	-	-	-
3.	Проверка и уточнение базовой конструкции	0,5	0,5	-
4.	Разработка модельной конструкции	4,5	4,5	-
5.	Проверка качества посадки модельной конструкции на типовой фигуре, проведение первой примерки	0,5	1	-
6.	Внесение исправлений в модельную конструкцию	3	3	1
7.	Проверка качества посадки опытного образца на типовой фигуре, проведение второй примерки	1	0,5	0,5
8.	Уточнение конструкции и лекал	2	1	1
Итого:		12,5	11,5	3,5

Таблица 4.5 – Временные затраты закройщика и/или лаборанта-портного

№ п/п	Вид операции	Затраты времени на модель, ч.		
		САПР без 3D	САПР с 3D	САПР с 3D БД
1.	Раскрой макета модели	3	-	-
2.	Изготовление макета модели	3,5	-	-
3.	Раскрой образца	3,5	3,5	-
4.	Изготовление образца	6	6	-
Итого:		16	9,5	-

Трудоемкость работ по разработке проектно-конструкторской документации на создание новой модели приведена в таблице 4.6.

Таблица 4.6 – Временные затраты на разработку проектно-конструкторской документации

№ п/п	Вид операции	Затраты времени на модель, ч.		
		САПР без 3D	САПР с 3D	САПР с 3D БД
1	2	3	4	5
1.	Разработка комплекта лекал на модель на один размер в одном росте	2,4	2,4	2,4
2.	Размножение (градация) лекал по размерам и ростам	14,4	14,4	14,4
3.	Печать и вырезание лекал	1	1	1
4.	Измерение и расчет площади лекал	1,3	1,3	1,3
5.	Раскладка лекал (верх, приклад)	2,4	2,4	2,4

Окончание таблицы 4.6

1	2	3	4	5
6.	Составление технологической карты новой модели	5	5	5
Итого:		26,5	26,5	26,5

Таким образом, общие затраты времени на создание новой модели платья без рукавов на типовую фигуру:

- при проектировании традиционным методом с использованием САПР без модуля 3D визуализации $\Theta_t = 79$ ч.
- при проектировании традиционным методом с использованием САПР с модулем 3D визуализации $\Theta'_t = 70,5$ ч.
- при проектировании по разработанной технологии с использованием САПР с модулем 3D визуализации $\Theta''_t = 53$ ч.

Абсолютная и относительная экономия времени определяются по формулам 4.1-4.3:

$$\Theta_{t \text{ аб ср}} = \frac{\sum_1^n \Theta_t - \sum_1^n \Theta''_t}{n} \quad (4.1)$$

$$\Theta_{t \text{ ср}} = \frac{\sum_1^n \Theta_t}{n} \quad (4.2)$$

$$\Theta_{t \text{ от}} = \frac{\Theta_{t \text{ аб ср}}}{\Theta_{t \text{ ср}}} \times 100\% \quad (4.3)$$

$\Theta_{\text{таб ср}}$ – средняя абсолютная экономия времени на создание новой модели,

Θ_t – время, затрачиваемое на создание новой модели при традиционном проектировании с использованием САПР без модуля 3D визуализации,

Θ'_t – время, затрачиваемое на создание новой модели при традиционном проектировании с использованием САПР с модулем 3D визуализации,

Θ''_t – время, затрачиваемое на создание новой модели при проектировании по разработанной технологии с использованием САПР с модулем 3D визуализации,

n – количество моделей,

$\Theta_{t\text{ ср}}$ – среднее время, затрачиваемое на создание новой модели при традиционном проектировании с использованием САПР без модуля 3D визуализации,

$\Theta_{t\text{ от}}$ – относительная экономия времени на создание новой модели.

По результатам расчета $\Theta_{\text{таб ср}} = 26$ ч., $\Theta_{t\text{ от}} = 42$ %.

Результаты расчета экономической эффективности показали, что внедрение в производство технологии создания и преобразования моделей одежды разных объемных форм позволит значительно сократить сроки разработки новых моделей одежды и расходы на производство, что, в свою очередь, позволит сократить стоимость разработки модели (и, как следствие, размер фонда оплаты труда) и затраты на материалы. Так, например, при производстве швейным предприятием 6-8 коллекций (по 35 моделей в коллекции) в год в среднем по 24 модели в месяц на разработку и запуск в производство новой модели при традиционном проектировании с использованием САПР без модуля 3D визуализации задействованы 5 дизайнеров, 4 конструктора, 2 лаборанта-портных (закройщика) и 1 технолог со средней заработной платой 90 000 руб., 70 000 руб., 60 000 руб. и 90 000 руб. соответственно (средняя заработная плата по региону Республика Татарстан на основе данных вакансий крупных предприятий швейной промышленности). Следовательно, величина фонда оплаты труда задействованных специалистов на создание одной новой модели (не включая затраты на материалы, налоги и социальные выплаты,

амортизацию оборудования и пр.) составляет 23 287,25 руб., а при использовании разработанной технологии – 13 517,67 руб. Таким образом, предварительный расчет (таблица 4.7) относительной экономии ФОТ на создание новой модели составляет 42 %.

Таблица 4.7 – Предварительный расчет относительной экономии ФОТ на создание новой модели при использовании разработанной технологии

<i>Раб.ч. в месяце (в ср. в 2025 г.):</i>	<i>162,75</i>	Затраты позиции на модель, ч.		
Наименование позиции	ФОТ, руб./мес.	САПР без 3D	САПР с 3D	САПР с 3D БД
Модельер (дизайнер)	90 000,00	24	23	23
Конструктор	70 000,00	34	33	25
Лаборант-портной (закройщик)	60 000,00	16	9,5	0
Технолог	90 000,00	5	5	5
Итого затраты на модель, руб.:		23 287,25	20 460,83	13 517,67
Экономия на модель, %:		-	12%	42%

Разработанная технология создания и преобразования моделей одежды разных объемных форм может быть рекомендована для внедрения в условиях массового производства.

Выводы по главе 4

1. Экспериментально установлена эффективность использования предложенной технологии при создании моделей женских платьев из различных материалов. Показана идентичность визуализации внешних форм изделий и исходной базовой формой при использовании цифровых двойников материалов из библиотеки программы Clo3D: тафта, крепдешин, атлас, органза, эко-кожа, рибана, джерси, лен.

2. Экспериментально установлено, что предложенная технология эффективно реализуется с использованием программ трехмерного проектирования специального и общего назначения для создания плечевых и поясных изделий. Апробация технологии для создания внешней формы плечевой одежды с использованием программ трехмерного проектирования специального назначения Assyst и Style3D и в программе общего назначения 3ds Max показала: цифровые модели программ специального назначения Assyst и Style3D имеют достаточно высокую степень визуальной идентичности цифровых моделей и реальных образцов, однако программы по-разному воспроизводят свойства применяемых материалов, ввиду чего полученные формы отличаются пластикой и силуэтными линиями, а также несмотря на одинаково заданные параметры, аватары различных программ имеют свои особенности формы, что влияет на посадку изделий, наличие или отсутствие дефектов; цифровые модели, созданные в программе общего назначения 3ds Max, требуют доработки и проведения дополнительных испытаний. Апробация разработанной технологии для создания внешней формы поясной одежды (женская юбка-солнце на типовую женскую фигуру второй полнотной группы базового размера 164-92-98) в условиях цифровой примерки в программах трехмерного проектирования Clo3D и Style3D и оценка полученного результата с позиции визуальной идентичности воспроизведения внешней

формы цифровой 3D модели с реальным образцом подтвердили возможность ее использования в проектировании различных видов изделий в условиях включения их базовых форм в базу данных.

3. Производственная апробация технологии подтвердила возможность ее внедрения в производственный процесс промышленного предприятия, а база данных плоских разверток деталей и цифровых 3D моделей одежды разных объемных форм обеспечивает хорошую посадку изделий на фигуру и соответствие внешней объемной формы текущим модным тенденциям и потребностям современного потребителя.

4. Проведена апробация разработанной технологии создания и преобразования цифровых моделей одежды разных силуэтно-объемных форм в условиях ООО «Сервис-МК» и ООО «Харизма» и показана ее экономическая целесообразность. Экономический эффект от внедрения разработанной технологии составляет 2,7 млн. руб.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Определены двухмерные и трехмерные формы представления цифровых моделей одежды, их функции, средства их создания и область применения. Выделены цифровые модели, создаваемые в реальном мире и преобразуемые в цифровые формы (Ф-Ц); создаваемые и существующие только в цифровом пространстве (Ц-Ц); создаваемые в цифровом пространстве для дальнейшего воспроизведения в физические формы (Ц-Ф). Определено понятие цифрового двойника одежды. Формализованы единые технологии создания и/или преобразования цифровых моделей одежды с учетом форм их представления.

2. Установлено, что в качестве субъектов проектирования трехмерных цифровых моделей одежды выступают поверхности, образованные: трехмерной моделью типовой фигуры (аватар и/или 3D манекен); трехмерной моделью индивидуальной фигуры (аватар и/или 3D манекен); трехмерной параметрической моделью. Объектами проектирования при разработке новых моделей цифровой одежды являются элементы цифрового представления формы цифровой одежды, которые создаются в программах автоматизированного проектирования на основе геометрического 2D и/или 3D моделирования одним из способов или их комбинацией: «от 2D разверток деталей к 3D форме»; «от 3D формы к 2D развертке деталей»; преобразование 3D формы; «от промпта к 3D форме».

3. Проанализированы морфологические признаки внешней формы манекенов типовой фигуры (164-92-98) и аватаров различных программ трехмерного проектирования одежды. Установлено, что при одинаковых значениях обхватных измерений (обхват груди и обхват бедер) наблюдаются различия очертаний их контуров в сагиттальной и фронтальной плоскостях и различия длин криволинейных участков по основным конструктивным поясам манекенов в передней, задней и боковых

зонах. Наибольшее значение выявленные различия имеют при разработке изделий прилегающего силуэта и наименьшее – при проектировании изделий свободных форм. Установлено, что при создании цифровых двойников одежды свободных форм необходимо обеспечение соответствия манекенов и аватаров в области опорной поверхности в изгибах шейного и поясничного отделов позвоночника, наклоне плечевых скатов.

4. С учетом инструментальной базы программ трехмерного проектирования и приемов формообразования изделий разных силуэтно-объемных форм разработаны плоские развертки деталей 12 визуально различных моделей женских платьев прямого, овального и трапецевидного силуэтов. Получены их математические модели. Предложена «градиация формы» контуров плоских разверток деталей станов трапецевидного силуэта для получения визуально различных моделей женской однослойной плечевой одежды. На основе представленных плоских разверток созданы цифровые двойники и изготовлены материальные образцы.

5. Разработана методика оценки цифровых двойников двухмерных и трехмерных моделей женских платьев, позволяющая количественно оценить результат каждого этапа их проектирования и уровень соответствия цифрового двойника заданным параметрам. Определена система групповых и единичных показателей, установлены критерии их экспертной оценки с использованием условных шкал, сформированных по методу семантического дифференциала. Разработаны уровни соответствия цифровых двойников заданным параметрам.

6. Разработана методика экспертной оценки визуальной идентичности внешней формы цифровых двойников материальным образцам. Определены показатели и критерии оценки степени визуальной идентичности.

7. Установлено, что степень визуальной идентичности внешней формы цифровых двойников и материальных образцов определяется при сравнении двухмерных изображений в четырех проекциях величинами разниц периметров и площадей их контуров. Величины интервалов визуального безразличия составляют $\pm 3,5\%$ по периметрам и $\pm 13\%$ по площадям.

8. Создана база данных плоских разверток деталей и цифровых двойников женских платьев разных силуэтно-объемных форм на типовую фигуру базового размера 164-92-98. Практическое решение базы данных реализовано в программе трехмерного проектирования одежды Clo3D (режим «Modular»).

9. Разработана технология создания и/или преобразования цифровых двойников женских платьев разных силуэтно-объемных форм, включающая обращение к разработанной базе данных, использование методов преобразования силуэтно-объемной формы и системы оценки результата цифрового проектирования.

10. Экспериментально установлена эффективность использования предложенной технологии при создании моделей женских платьев из различных материалов. Показана идентичность визуализации внешних форм изделий и исходной базовой формы при использовании цифровых двойников материалов из библиотеки программы Clo3D: «тафта», «крепдешин», «атлас», «органза», «эко-кожа», «рибана», «джерси», «лен».

11. Экспериментально установлено, что предложенная технология эффективно реализуется с использованием программ трехмерного проектирования специального и общего назначения для создания плечевых и поясных изделий.

12. Апробация технологии в условиях ООО «Сервис-МК» и ООО «Харизма» показала ее экономическую целесообразность. Экономический эффект от внедрения разработанной технологии составляет 2,7 млн. руб.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Турбина, Р. М. Цифровая одежда будущего: 5 тезисов // АфишаDaily. URL: <https://daily.afisha.ru/brain/16812-cifrovaya-odezhda-buduschego-5-tezisev-ot-uchastnicy-summit-z8-reginy-turbinoy> (дата обращения 19.10.2023).

2. Балланд, Т. В. Цифровая одежда – модный тренд или требование времени / Т. В. Балланд, И. Н. Сафронова // Дизайн и художественное творчество: теория, методика и практика : материалы Третьей международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 04 декабря 2020 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна. – 2020. – С. 179-183.

3. Алексеева, Н. В. Цифровая одежда и возможности ее применения в маркетинге / Н. В. Алексеева, Н. Ф. Собитова, Т. Р. Афлиев // Экономика России: новые вызовы и перспективы : Сборник научных трудов Института технологий управления ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет». – Москва : ООО «Издательство «Спутник+». – 2022. – С. 278-285.

4. Райкова, Е. Ю. Анализ феномена цифровой одежды / Е. Ю. Райкова, Е. С. Шишкина, Е. Л. Пехташева // Актуальные проблемы экспертизы, технического регулирования и подтверждения соответствия продукции текстильной и легкой промышленности : Сборник научных трудов по материалам 2-го Круглого стола с международным участием, Москва, 26 ноября 2021 года. – Москва: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный университет имени А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)», 2022. – С. 214-218. – EDN USOJWH.

5. Турбина, Р. М. Replicant.fashion – пространство моды будущего и новых возможностей // Replicant.fashion. URL: <https://www.replicant.fashion/whatisdigitalfashion> (дата обращения: 19.10.2023).

6. Что такое виртуальная одежда и зачем ее покупать? // ITSALIVE. URL: <https://vc.ru/u/1141412-itsalive/402581-chto-takoe-virtualnaya-odezhda-i-zachem-ee-pokupat> (дата обращения 19.10.2023).

7. Ахмадуллина, А. А. О капсуле 3D-одежды и моде будущего // Buro 24/7. URL: <https://www.buro247.ru/fashion/heroes/27-may-2020-fashion-interview-akhmadullina.html> (дата обращения: 19.10.2023).

8. Särämäkari, Natalia; Vänskä, Annamari (2021-10-20). «Just hit a button!» – fashion 4.0 designers as cyborgs, experimenting and designing with generative algorithms». International Journal of Fashion Design, Technology and Education. 15 (2): 211–220.

9. Roei Derhi. The emperor's new clothes are digital: Israeli designers shape virtual fashion world // The Times of Israel. URL: <https://www.timesofisrael.com/the-emperors-new-clothes-are-digital-israeli-designers-shape-virtual-fashion-world/> (дата обращения: 19.10.2023).

10. Dr Mark van Rijmenam. DIGITAL FASHION: THE NEXT FRONTIER IN FASHION // The Digital Speaker. URL: <https://www.thedigitalspeaker.com/digital-fashion-next-frontier-fashion/> (дата обращения: 19.10.2023).

11. The Fabricant. Digital Fashion House 3.0 // Medium. URL: <https://thefabricant.medium.com/the-fabricant-91e88b5b6b76> (дата обращения: 19.10.2023).

12. ГОСТ 170037-2022 Межгосударственный стандарт. Изделия швейные и трикотажные. Термины и определения.

13. Сулейманова, Е. А. Актуальность проектирования виртуального костюма / Е. А. Сулейманова, Ю. А. Коваленко, Н. В. Тихонова // Жить в

XXI веке – 2023 : Сборник конкурсных работ на лучшую научно-исследовательскую работу студентов и аспирантов КНИТУ, посвящённый году педагога и наставника . – Красноярск : Общество с ограниченной ответственностью «Научно-инновационный центр». – 2023. – С. 674-677. – ISBN 978-5-907608-11-5.

14. Сулейманова, Е. А. Актуальность создания и преобразования конструктивных решений реального костюма в виртуальный / Е. А. Сулейманова, Ю. А. Коваленко, Н. В. Тихонова // Товароведение. Биотехнология и автоматизация обработки кожи и меха: материалы VIII Международной научно-практической конференции. – Улан-Удэ: Изд-во ВСГУТУ. – 2022. – 102 с. – С. 69-71.

15. Tong Z, Qingfu L, Xiaoyi W, 2024. Advancements in Three-Dimensional Virtual Try-On Technology. Proceedings of the 2024 3rd International Conference on Information Economy, Data Modelling and Cloud Computing (ICIDC 2024): 332-343.

16. Liu J, Ren Y, Qin X, et al. [Retracted] Study on 3D Clothing Color Application Based on Deep Learning-Enabled Macro-Micro Adversarial Network and Human Body Modeling[J]. Computational Intelligence and Neuroscience, 2021,2021: 9918175.

17. Bhatnagar B L, Tiwari G, Theobalt C, et al. Multi-Garment Net: Learning to Dress 3D People from Images[J]. 2019.

18. Tan Z, Lin S, Wang Z. Cluster Size Intelligence Prediction System for Young Women's Clothing Using 3D Body Scan Data. Mathematics. 2024; 12(3):497.

19. Ghodhbani H. et al. You can try without visiting: a comprehensive survey on virtually try-on outfits //Multimedia Tools and Applications. – 2022. – Т. 81. – №. 14. – С. 19967-19998.

20. Chong T. et al. Per garment capture and synthesis for real-time virtual try-on //The 34th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology. – 2021. – С. 457-469.

21. Majithia S. et al. Robust 3d garment digitization from monocular 2d images for 3d virtual try-on systems //Proceedings of the IEEE/CVF Winter Conference on Applications of Computer Vision. – 2022. – С. 3428-3438.

22. Islam T. et al. Deep learning in virtual try-on: A comprehensive survey //IEEE Access. – 2024.

23. The Sun. AI mirror lets you 'try on' clothes while you ride the subway. URL: <https://www.the-sun.com/tech/13393984/ai-mirror-try-clothes-subway/> (дата обращения: 29.01.2025).

24. Future Stores. Zara's augmented reality app and virtual model strategy. URL: <https://futurestores.wbresearch.com/blog/zara-augmented-reality-app-virtual-model-strategy> (дата обращения: 29.01.2025).

25. Шевченко, М. 3D, нейросети и дополненная реальность: почему виртуальная примерка – это иллюзия, которой мы хотим верить? 2025. URL: <https://fashionbuzz.media/digital/3d-nejroseti-i-ar-pochemu-virtualnaya-primerka-echo-illyuziya>(дата обращения: 22.01.2025).

26. Шевченко, М. Как бы одевался Пушкин, живи он в наше время? 2025. URL: <https://t.me/couture3d/1277>(дата обращения: 22.01.2025).

27. Liu, K.; Wang, J.; Zhu, C.; Hong, Y. Development of upper cycling clothes using 3D-to-2D flattening technology and evaluation of dynamic wear comfort from the aspect of clothing pressure. Int. J. Cloth. Sci. Technol. – 2016, 28, 736-749.

28. Abtew, M.A.; Bruniaux, P.; Boussu, F.; Loghin, C.; Cristian, I.; Chen, Y.; Wang, L. A systematic pattern generation system for manufacturing customized seamless multi-layer female soft body armour through dome-formation (moulding) techniques using 3D warp interlock fabrics. J. Manuf. Syst. – 2018, 49, 61-74.

29. Mesuda, Y.; Inui, S.; Horiba, Y. Virtual draping by mapping. *Comput. Ind.* – 2018, 95, 93-101.

30. Liu, K.; Zeng, X.; Bruniaux, P.; Tao, X.; Yao, X.; Li, V.; Wang, J. 3D interactive garment pattern-making technology. *Comput.-Aided Des.* – 2018, 104, 113-124.

31. Han, H.; Han, H.; Kim, T. Patternmaking for middle-aged women's swimsuit applying 3D scan pattern development. *Int. J. Cloth. Sci. Technol.* – 2020, 32, 743-759.

32. Lei, G.; Li, X. A new approach to 3D pattern-making for the apparel industry: Graphic coding-based localization. *Comput. Ind.* – 2022, 136, 103587.

33. Abtew, M.A.; Bruniaux, P.; Boussu, F.; Loghin, C.; Cristian, I.; Chen, Y.; Wang, L. A systematic pattern generation system for manufacturing customized seamless multi-layer female soft body armour through dome-formation (moulding) techniques using 3D warp interlock fabrics. *J. Manuf. Syst.* – 2018, 49, 61-74.

34. Lagè A., Ancutienė K. Virtual try-on technologies in the clothing industry: basic block pattern modification // *International Journal of Clothing Science and Technology.* – 2019. – Т. 31. – №. 6. – С. 729-740.

35. Кузьмичев, В.Е. Проектирование цифровых двойников исторических систем «фигура – костюм» / В. Е. Кузьмичев, Н. А. Сахарова, А. В. Корнилович [и др.] // *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности.* – 2019. – № 6(384). – С. 9-15.

36. Lei, G.; Li, X. Review of digital pattern-making technology in garment production. *J. Text. Res.* – 2022, 43, 203-209.

37. Каршакова, Л.Б. Художественное проектирование цифровой одежды средствами редактора Clo3D / Л.Б. Каршакова, Г.И. Борзунов, М.А. Груздева, М.А. Обетковская // *Костюмология.* – 2022. – Т. 7. – № 3. – URL: https://kostumologiya.ru/PDF/07_TLKL322.pdf (дата обращения: 22.01.2025).

38. Борзунов, Г.И. Особенности проектирования одежды в цифровой среде / Г.И. Борзунов, Л.Б. Каршакова, М.А. Груздева, М.А. Обетковская, В.Б. Смирнов, С.В. Захаркина // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. – 2022. – № 2(398). – С. 183-191.

39. Добровольская, Т. А. Исследование способов художественного проектирования одежды в цифровой среде с использованием программы Stylist3D / Т. А. Добровольская, А. А. Маслова // Костюмология. – 2024. – Т. 9. – № 2. – URL: <https://kostumologiya.ru/PDF/20TLKL224.pdf>.

40. Москвин, А.Ю. Цифровые двойники текстильных материалов для визуализации исторических костюмов / А.Ю. Москвин, М.А. Москвина, В.Е. Кузьмичев // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. – 2022. – № 2(398). – С. 86–93.

41. Wang, Z. et al. A Machine Learning-Enhanced 3D Reverse Design Approach to Personalized Garments in Pursuit of Sustainability //Sustainability. – 2023. – Т. 15. – №. 7. – С. 6235.

42. Hong, Y. et al. Interactive virtual try-on based three-dimensional garment block design for disabled people of scoliosis type //Textile Research Journal. – 2017. – Т. 87. – №. 10. – С. 1261-1274.

43. How Nike is using AI to transform product design, customer experience and operational efficiency // AIM Research. – 2024. – URL: <https://aimresearch.co/market-industry/how-nike-is-using-ai-to-transform-product-design-customer-experience-and-operational-efficiency> (датаобращения: 29.01.2025).

44. Сахарова, Н. А. Оценка реалистичности виртуальных моделей верхней одежды атектоничных форм / Н. А. Сахарова, М. С. Голикова // Наука молодых – будущее России : Сборник научных статей 2-й Международной научной конференции перспективных разработок молодых ученых. В 5-ти томах, Курск, 13–14 декабря 2017 года /

Ответственный редактор А.А. Горохов. Том 5. – Курск: Закрытое акционерное общество «Университетская книга». – 2017. – С. 331-335.

45. Сахарова, Н. А. К вопросу о возможности применения 3D-САПР для квалиметрии посадки одежды сложных объемно-силуэтных форм / Н. А. Сахарова // Материалы докладов 51-й международной научно-технической конференции преподавателей и студентов в двух томах, Витебск, 25 апреля 2018 года. Том 2. – Витебск: Витебский государственный технологический университет. – 2018. – С. 163-166.

46. Андреева, Е.Г.; Петросова, И.А. Методология оценки качества проектных решений одежды в виртуальной трехмерной среде. М.: МГУДТ. – 2015. 131 с. – ISBN 978-5-87055-224-8.

47. Гогузов, Д. Н. Методика количественного сравнения виртуальной модели одежды с реальным образцом / Д. Н. Гогузов, И. А. Петросова, Е. Г. Андреева // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. – 2024. – № 1(409). – С. 131-138. – DOI 10.47367/0021-3497_2024_1_131.

48. Xiaoxiao Long, Yuan-Chen Guo, Cheng Lin, Yuan Liu, Zhiyang Dou, Lingjie Liu, Yuexin Ma, Song-Hai Zhang, Marc Habermann, Christian Theobalt, et al. 2023. Wonder3d: Single image to 3d using cross-domain diffusion. arXiv preprint arXiv:2310.15008 (2023).

49. Ben Poole, Ajay Jain, Jonathan T Barron, and Ben Mildenhall. 2022. Dreamfusion: Text-to-3d using 2d diffusion. arXiv preprint arXiv:2209.14988 (2022).

50. Li B. et al. GarmentDreamer: 3DGS Guided Garment Synthesis with Diverse Geometry and Texture Details //arXiv preprint arXiv:2405.12420. – 2024.

51. LIU J, REN Y, QIN X, et al. [Retracted] Study on 3D Clothing Color Application Based on Deep Learning-Enabled Macro-Micro Adversarial

Network and Human Body Modeling[J]. Computational Intelligence and Neuroscience, 2021,2021: 9918175.

52. LEE J, NGUYEN D, KIM J, et al. Double reverse diffusion for realistic garment reconstruction from images[J]. Engineering Applications of Artificial Intelligence, 2024,127: 107404.

53. Bhatnagar B L, Tiwari G, Theobalt C, et al. Multi-Garment Net: Learning to Dress 3D People from Images[J]. 2019.

54. Wang Z. et al. An interactive personalized garment design recommendation system using intelligent techniques //Applied Sciences. – 2022. – Т. 12. – №. 9. – С. 4654.

55. Tan Z., Lin S., Wang Z. Cluster Size Intelligence Prediction System for Young Women's Clothing Using 3D Body Scan Data //Mathematics. – 2024. – Т. 12. – №. 3. – С. 497.

56. Раздомахин, Н.Н. Теоретические основы и методическое обеспечение трехмерного проектирования одежды [Текст]: дис. док. тех. наук: – СПб. – 2004.

57. Гусева, М.А. Совершенствование метода трехмерного проектирования элементов конструкции плечевой одежды [Текст]: дис. канд. тех. наук: – М. – 2007.

58. Гальцова, Л.О. Разработка метода трехмерного проектирования внешней формы изделия на типовые и индивидуальные фигуры [Текст]: дис. канд. тех. наук: – М. – 2012.

59. Гетманцева, В.В. Научные основы интеллектуализации виртуального проектирования конструкции и технологии изготовления одежды [Текст]: дис. док. тех. наук: – М. – 2020.

60. Moskvina, A. Yu. Shaping digital twins of tight-fitting clothes / A. Yu. Moskvina, M. A. Moskvina, V. E. Kuzmichev // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2023. – No. 5(407). – P. 138-147. – DOI 10.47367/0021-3497_2023_5_138.

61. Максач, В. В. Разработка математической модели процесса формообразования поверхности из драпируемых материалов / В. В. Максач, М. А. Чижик, В. Ю. Юрков // Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности. – 2024. – Т. 65, № 1. – С. 9-14.

62. Сулейманова, Е. А. и др. От идеи до реальности: процесс создания одежды для персонажа компьютерной игры (english: From idea to reality: the process of clothing design for a computer game character) / Е. А. Сулейманова, Р. Р. Газизов, В. В. Кугуракова, Ю. А. Коваленко, Н.В.Тихонова // Технология текстильной промышленности, Иваново. N5 (413). – 2024. 5 с.

63. Park, Jeongah, and Jeongran Lee. «Reproducibility of Virtual Power Shoulder Jacket by Silhouette Variation». Fashion & Textile Research Journal. The Korean Society for Clothing Industry, June 30. – 2022.

64. Дёмин, А.Ю. Основы компьютерной графики: учебное пособие / А.Ю. Дёмин; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета. – 2011. – 191 с.

65. Таранцев, И. Г. Компьютерная графика: Метод. пособие / Новосиб. гос. ун-т. Новосибирск. – 2017. – 60 с.

66. Гришина, Н. И. Развитие полигональной графики в художественном искусстве // Инновационная наука. 2020. №3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/razvitie-poligonalnoy-grafiki-v-hudozhestvennom-iskusstve> (дата обращения: 13.03.2025).

67. CGI: инструменты и особенности // GeekBrains. URL: <https://gb.ru/blog/cgi/> (дата обращения: 19.10.2023).

68. Сырых, А.В. Инновационный контекст визуальных технологий в процессах проектирования и продвижения коллекций одежды / А.В. Сырых, М.Р. Тимофеева // Костюмология. – 2020. – Т. 5, № 3. – С. 6.

69. Бараш, В. В. Функции одежды / В. В. Бараш, А. Н. Зоткина // Современный механизм функционирования торгового бизнеса и туристической индустрии: реальность и перспективы : материалы IV

Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Минск, 5-6 декабря 2019 г. / [редакционная коллегия: Г. А. Короленок (пред.) и др.] ; Министерство образования Республики Беларусь, Белорусский государственный экономический университет. – Минск : БГЭУ. – 2020. – С. 303-304.

70. Сулейманова, Е. А. Сравнительный анализ функций одежды реального и цифрового костюмов / Е. А. Сулейманова, Ю. А. Коваленко, Н. В. Тихонова // Молодые ученые – развитию Национальной технологической инициативы (ПОИСК). – 2024. – № 1. – С. 696-698.

71. Черемных, А.И. Основы художественного конструирования женской одежды, изд-во «Легкая индустрия». – 1968. – 220 с.

72. Горина, Г.С. Моделирование формы одежды. – М.: Легкая и пищевая промышленность. – 1982. – 184 с.

73. Коблякова, Е.Б. Конструирование одежды с элементами сапр: Учебн. Для вузов / Е.Б. Коблякова, Г.С. Ивлева, В.Е. Романов и др. //- 4-е изд., М.: Легпромбытиздат. – 1988.– 464 с.

74. Андросова, Э.М. Основы художественного проектирования костюма: Учебное пособие. – Челябинск: Издательский дом «Медиа-Принт». – 2004. – 184 с, ил.

75. Козлова, Т.В. Художественное проектирование костюма. – М.: Легкая и пищевая пром-сть. – 1982. – 144 с, ил.

76. Пармон, Ф.М. Композиция костюма. – Учебник для вузов. – М.: Легпромбытиздат. – 1997 – 318 с, ил.

77. Медведева, Т. В. Художественное конструирование одежды [Текст] : учебное пособие / Т. В. Медведева. – Москва :ФОРУМ : ИНФРА-М. – 2003. – 480 с.

78. Гусева, М. А. Анализ 3D визуализации процесса формообразования одежды со сложной топографией поверхности / М.А.

Гусева, В.В. Гетманцева, Е.Г. Андреева // Международный научно-исследовательский журнал. – 2017. – № 7-3(61). – С. 26-30.

79. Макаревич, М. В. Способы формообразования в мультидетальных моделях одежды / М.В. Макаревич, Е.В. Лунина // Евразийский союз ученых. – 2016. – № 6-2(27). – С. 39-40.

80. Терещенко, М. Д. Роль формообразования в дизайне одежды // Образование. Наука. Культура : Сборник научных статей Материалов международного научного форума, Гжель, 21 ноября 2018 года / Гжельский государственный университет. – Гжель: Гжельский государственный университет. – 2019. – С. 90-92.

81. Рогожин, А. Ю. Моделирование процесса формообразования поверхности одежды / А.Ю. Рогожин, М.А. Гусева, Е.Г. Андреева // Дизайн и технологии. – 2017. – № 60(102). – С. 25-34.

82. Сафронова, И. Н. Эволюции модных форм одежды и графических средств ее выражения в эскизах дизайнеров костюма / И.Н. Сафронова, Т.В. Балланд// Евразийское Научное Объединение. – 2020. – № 11-5(69). – С. 371-374.

83. Прокопова, Е. В. Влияние декоративных средств разработки поверхности формы на процесс формообразования моделей одежды // Молодой ученый. – 2022. – № 5(400). – С. 47-50.

84. Гогузов, Д.Н. Форма костюма как основа художественного проектирования новой одежды / Д.Н. Гогузов, С.Г. Дембицкий, Ю.Ю. Фирсова, М.И. Алибекова // Инновации и Технологии к развитию теории современной моды «мода (материалы. Одежда. Дизайн. Аксессуары)» : Сборник материалов I Международной научно-практической конференции, посвященной Фёдору Максимовичу Пармону, Москва, 05–07 апреля 2021 года. Том Часть 1. – Москва: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский

государственный университет имени А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)». – 2021. – С. 56-60.

85. Сахарова, Н.А. Технология виртуального проектирования объемно-пространственной формы женских платьев по чертежам их конструкций /Н.А. Сахарова, В.Е. Кузьмичев, Ц. Ни // Швейная промышленность. – 2011. – №2. – С.38-41.

86. Сахарова, Н.А. К вопросу о распознавании объемно-силуэтной формы одежды /Н.А. Сахарова, А.В. Чибунова// Деп. в ВИНТИ № 271-B2010 от 12.05.2010.

87. Сулейманова, Е. А. Художественное формообразование в промышленном проектировании одежды /Е. А. Сулейманова, Ю. А. Коваленко, Н. В. Тихонова // Костюмология. – 2022. – Т. 7. – № 2. – URL: <https://kostumologiya.ru/PDF/02TLKL222.pdf>.

88. Сулейманова, Е. А. Применение творческих методов модульности, трансформации и достраивания при создании новых моделей одежды на одной конструктивной основе / Е. А. Сулейманова, Ю. А. Коваленко, Н. В. Тихонова // Молодые ученые – развитию Национальной технологической инициативы (ПОИСК). – 2023. – № 1. – С. 719-721.

89. Сулейманова, Е. А. Использование универсальной конструктивной базовой основы в промышленном дизайне одежды / Е. А. Сулейманова, Н. В. Тихонова, Ю. А. Коваленко // Дизайн XXI века : Материалы VII Всероссийской заочной научно-практической интернет-конференция с международным участием, Тула, 17–22 апреля 2023 года. – Тула: Тульский государственный университет. – 2023. – С. 289-294.

90. Сулейманова, Е.А. Понятие «цифровой костюм» и сфера его применения / Е. А. Сулейманова, Ю. А. Коваленко, Н. В. Тихонова // Костюмология. – 2023. – Т. 8. – № 4. – URL: <https://kostumologiya.ru/PDF/07TLKL423.pdf>.

91. Коваленко, Ю.А. Художественное формообразование в одежде. Часть 2: Учебное пособие / Казан. нац. исслед. технол. ун-т / Ю.А. Коваленко, Н.В. Тихонова. – 2023. – 130 с.

92. Toby Chong, I-Chao Shen, Nobuyuki Umetani, and Takeo Igarashi. 2021. Per Garment Capture and Synthesis for Real-time Virtual Try-on. In The 34th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST '21). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 457–469. <https://doi.org/10.1145/3472749.3474762>.

93. Majithia S. et al. Robust 3d garment digitization from monocular 2d images for 3d virtual try-on systems //Proceedings of the IEEE/CVF Winter Conference on Applications of Computer Vision. – 2022. – С. 3428-3438.

94. Шевченко, М. Как бы одевался Маяковский, живи он в наше время? 2025. URL: <https://t.me/couture3d/1339> (дата обращения: 21.02.2025).

95. Сахарова, Н. А. Использование современных технологий трехмерного проектирования одежды для согласованного взаимодействия элементов системы «художественный образ модели – чертеж конструкции» / Н. А. Сахарова // Инновации и Технологии к развитию теории современной моды «мода (материалы. Одежда. Дизайн. Аксессуары)» : Сборник материалов I Международной научно-практической конференции, посвященной Фёдору Максимовичу Пармону, Москва, 05–07 апреля 2021 года. Том Часть 2. – Москва: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный университет имени А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)». – 2021. – С. 205-210.

96. ГОСТ 31396-2009 Классификация типовых фигур женщин по ростам, размерам и полнотным группам для проектирования одежды / введ. 30.06.2010. – М.: Стандартинформ. – 2011. – 18 с.

97. Кузьмичев, В.Е. Проектирование цифровых двойников исторических систем «фигура – костюм» / В. Е. Кузьмичев, Н. А. Сахарова,

А. В. Корнилович [и др.] // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. – 2019. – № 6(384). – С. 9-15.

98. Сахарова, Н. А. Разработка информационной базы данных для оптимизации процесса проектирования одежды модных объемно-пространственных форм / Н. А. Сахарова // Дизайн, технологии и инновации в текстильной и легкой промышленности (ИННОВАЦИИ – 2015) : сборник материалов международной научно-технической конференции, Москва, 17–18 ноября 2015 года / Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный университет дизайна и технологии». Том 4. – Москва: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный университет дизайна и технологии». – 2015. – С. 119-120.

99. CLO Virtual Fashion. URL: <https://www.clo3d.com/en/> (Дата обращения: 21.03.2025).

100. Style3D. URL: <https://www.style3d.com/> (Дата обращения: 21.03.2025).

101. Marvelous Designer. URL: <https://marvelousdesigner.com/> (Дата обращения: 21.03.2025).

102. САПР Assyst. URL: <https://assystbullmer.co.uk/software/cad/cad-fashion/> (Дата обращения: 21.03.2025).

103. 3DСТАПРИМ. URL: <http://staprim.com/#> (Дата обращения: 21.03.2025).

104. Хамматова, В. В. Теоретические основы дизайн-проектирования объектов промышленного дизайна / В. В. Хамматова, Э. А. Хамматова // КНИТУ. – 2023, 1375 с. (Гриф КНИТУ или другого вуза).

105. Руднева, С.С. Разработка метода проектирования швейных изделий как арт-объектов сложной пространственной формы [Текст]: дис. канд. тех. наук: – М. – 2022.

106. Арнхейм, Р. Искусство и визуальное восприятие / пер. с англ. – М.: Прогресс. – 1974. – 391 с.

107. Добров Г.М., Ершов Ю.В., Левин Е.И., Смирнов Л.П. Экспертные оценки в научно-техническом прогнозировании: АН УССР, Ин-т кибернетики. – Киев: Наукова думка. – 1974. – 159 с.

108. Петросова, И.А. Разработка методологии проектирования внешней формы одежды на основе трехмерного сканирования [Текст]: дис. док. тех. наук. – М. – 2014.

109. Медведев, В.Ю. Принципы и критерии эстетической оценки промышленных изделий – произведений дизайна: учеб. пос. – СПб.: СПГУТД. – 2006. – 75 с.

110. Рахманов Н.А., Стаханова С.И. Конструктивные дефекты и способы их устранения. – М.: Легкая индустрия. – 1979. – 128 с.

111. Рахманов Н.А., Стаханова С.И. Устранение дефектов одежды. М.: Легкая и пищевая пром-сть. – 1985. – 128 с.

112. Кокеткин, П.П. Пути улучшения качества изготовления одежды/ П. П. Кокеткин, М. В. Сафронова, Т. Н. Кочегура. – М.: Легпромбытиздат. – 1989. – 240 с.

113. Медведева, Т.В. Развитие основ формирования качества при проектировании конструкций одежды. – М.: МГУС. – 2005. – 290 с.

114. Кислицина, Ю.В. Разработка методики оценки и корректирования баланса одежды в процессе автоматизированного проектирования: дис. ... канд. техн. наук : 05.13.12 / ОГИС, Омск. – 2005. – 186 с.

115. Коблякова, Е.Б. Структурная схема показателей, определяющих уровень качества одежды. Сообщение 1 //Швейная промышленность. – 1976. – № 2. – С.10-11.

116. Коблякова, Е.Б. Усовершенствование методики оценки качества конструкции одежды // Швейная промышленность. – 1979. – №. 4. – С.18.

117. Сурженко Е.Я, Раздомахин Н.Н., Басуев А.А. От расчетно-мерочных систем кроя к системе СТАПРИМ // В мире оборудования. – 2004. – № 06 (47). – С.52-54.

118. Шершнева, Л.П. Качество одежды. – М.: Легпромбытиздат. – 1985. – 192 с.

119. Сахарова, Н. А. Оценка показателей балансового соответствия моделей одежды атектоничных форм с использованием метода семантического дифференциала / Н. А. Сахарова, М. С. Голикова // Поколение будущего: взгляд молодых ученых : сборник статей 6-й междунар. научн. конф. – Курск : Юго-Зап. гос. ун-т. – 2017. – Т. 4. – С. 299303.

120. М. Мюллер и сын. Исправление дефектов посадки/ пер. с англ. – М.: Эдипресс-Конлига, 2011. – 132 с.

121. Grundy J. Design & Technology for a Level.- London: Hodder education. – 2008. – 460 p.

122. Fan J., Yu W., Hunter L. Clothing appearance and fit: Science and technology.-BocaRaton, Florida: CRC press. – 2004. – 239 p.

123. ГОСТ 4.45-86 Система показателей качества продукции. Изделия швейные бытового назначения. Номенклатура показателей. – М.: Изд-во стандартов. – 2001. – 6 с.

124. ГОСТ 24103-80. Изделия швейные. Термины и определения дефектов. – М.: Изд-во стандартов. – 1991. – 7 с.

125. ГОСТ 4103-82 Изделия швейные. Методы контроля качества. – М.: Стандартинформ. – 2011. – 23 с.

126. ГОСТ Р ИСО 9001–2011 Системы менеджмента качества. Требования. – М.: Стандартинформ. – 2012. – 36 с.

127. Сулейманова, Е. А. Создание и анализ визуализации цифровой формы 3d модели плечевого изделия разных объемов на примере силуэта «трапеция» / Е. А. Сулейманова, Н. В. Тихонова, Ю. А. Коваленко, Т. В. Жуковская // ИТ. Наука. Креатив : Материалы I Международного форума, Омск, 14–16 мая 2024 года. – Москва: Общество с ограниченной ответственностью «Издательско-книготорговый центр «Колос-с». – 2024. – С. 257-264.

128. Райхман Э.П., Азгальдов Г.Г. Экспертные методы в оценке качества товаров. М.: Экономика. – 1974. – 151 с.

129. Азгальдов Г.Г., Повилейко Р.П. О возможности оценки красоты в технике / под ред. А.В. Гличева. М.: Изд-во стандартов. – 1977. – 120 с.

130. Статистические методы анализа экспертных оценок: АН СССР / под ред. Рябушкина Т.В. – М.: Наука. – 1977. – 384 с.

131. Экспертные оценки и восприятие искусства / под. ред. И.Б. Гутчина, Т.А. Кудриной. – М.: Мин-во культуры РСФСР. – 1977. – 176 с.

132. Бешелев С.Д., Гурвич Ф.Г. Математико-статистические методы экспертных оценок. – М.: Статистика. – 1980. – 263 с.

133. Орлов А. И. Организационно-экономическое моделирование. Ч.2: Экспертные оценки: учебник. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. – 2009. – 486 с.

134. Москвин, А. Ю. Виртуальная и материальная реконструкция костюмов, представленных на русских лубочных картинках / А.Ю. Москвин, В.Е. Кузьмичев // Мода и дизайн: исторический опыт – новые технологии. Санкт-Петербург. – 2021. – С. 75-78.

135. Кузьмичев, В. Е. Параметрическое генерирование цифрового двойника исторического костюмного комплекса / В.Е. Кузьмичев, Н.А. Сахарова, Т.Н. Грищенко // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. – 2022. – № 5(401). – URL: https://tp.ivgpu.com/wp-content/uploads//2022/11//401_31.pdf.

136. Андреева Е.Г., Петросова И.А. Методология оценки качества проектных решений одежды в виртуальной трехмерной среде. М.: МГУДТ, 2015. 131 с. – ISBN 978-5-87055-224-8.

137. Андреева Е.Г., Петросова И.А., Гусева М.А., Шанцева О.А. Анализ существующих способов проведения виртуальной примерки: материалы докладов 50-й междунар. научно-технич. конф. преподавателей и студентов, посвященной году науки. – Витебск: ВГТУ. – 2017. – Том 2. – С.142-145.

138. Шанцева, О.А. Исследование существующих систем виртуальной примерки одежды / О.А. Шанцева, И.А. Петросова, Е.Г. Андреева, А.А. Иванова // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – №2(часть 3). – 10 с.

139. Kwak, Younsin. A Study on the 3D Simulation System Improvement through Comparing Visual Images between the Real Garment and the 3D Garment Simulation of Women's Jacket. The Journal of the Convergence on Culture Technology 2, no. 3 (August 31, 2016): 15–22.

140. Won Y., Jeong R. L. A Study on the Comparison of Fit Similarity Between the Actual and Virtual Clothing According to the Pants Silhouette. Fashion & Textile Research Journal. The Korean Society for Clothing Industry, December 31, 2021.

141. Park, Jeongah and Jeongran Lee. Reproducibility of Virtual Power Shoulder Jacket by Silhouette Variation. Fashion & Textile Research Journal. The Korean Society for Clothing Industry, June 30, 2022.

142. Hakeem F., Xia S., Stannard C. (2024). Evaluating 3D Apparel Simulation Technology's Performance of Creative Pattern-Cutting Techniques with the Assist of ASVT. *Clothing and Textiles Research Journal*, 0(0).

143. Рогожин, А.Ю. Разработка методов проектирования швейных изделий в системе САПР. Дисс. к.т.н. – М. – 1985. – 188с.

144. Рогожин, А. Ю. Двух- и трехмерные технологии в процессах проектирования одежды / А. Ю. Рогожин // *Дизайн и технологии : Научный журнал*. Москва. 2012. № 31 (73). С. 33-36. ISSN 2076-4693.

145. Сулейманова, Е. А. Формализация технологии создания цифровой 2D формы моделей одежды цифрового костюма / Е. А. Сулейманова, Н. В. Тихонова, Ю. А. Коваленко // *Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности*. – 2024. – Т. 69, № 5. – С. 9-17.

146. Сулейманова, Е. А. Применение цифровых технологий в производстве швейных изделий по индивидуальным заказам / Е. А. Сулейманова, Н. В. Тихонова, Ю. А. Коваленко [и др.] // *Костюмология*. – 2023. – Т 8. – №2. – URL: <https://kostumologiya.ru/PDF/09TLKL223.pdf> (дата обращения: 31.01.2024).

147. Сулейманова, Е. А. Цифровые инструменты в проектировании изделий легкой промышленности / Е. А. Сулейманова, Н. В. Тихонова, Ю. А. Коваленко, Т. В. Жуковская // *Новации в процессах проектирования и производства изделий легкой промышленности : Материалы I Всероссийской научной конференции с международным участием, Казань, 25–28 апреля 2023 года*. – Казань: Казанский национальный исследовательский технологический университет. – 2023. – С. 126-130.

148. Сулейманова, Е. А. Задание параметров базового аватара программы Clo3D и его настройка для визуализации примерки плечевой одежды на основе фотоизображений стана манекена / Е. А. Сулейманова, Н. В. Тихонова, Ю. А. Коваленко, Т. В. Жуковская // *Новации в процессах*

проектирования и производства изделий легкой промышленности : Материалы II Всероссийской конференции ученых, аспирантов и студентов с международным участием, Казань, 22–25 апреля 2024 года. – Казань: Казанский национальный исследовательский технологический университет, 2024. – С. 91-98.

149. Texel Portal MX. URL: <https://texel.graphics/ru/3d-scanners/portal-mx/> (Дата обращения: 21.04.2025).

150. Единая методика конструирования одежды СЭВ (ЕМКО СЭВ). Том 1. Теоретические основы. — 1988 г.

151. ОСТ 17–474–75. Манекены для женской одежды. Основные параметры и размеры.

152. Китаева А. С. Прогнозирование качества посадки одежды на верхней опорной поверхности цифрового двойника фигуры / А. С. Китаева, Н. А. Сахарова, В. Е. Кузьмичев // Молодые ученые – развитию Национальной технологической инициативы (ПОИСК). – 2022. – № 1. – С. 520-522.

153. Дементьева, К. А. Разработка цифрового двойника торса типовой женской фигуры для швейной промышленности / К. А. Дементьева, И. В. Жукова, В. Е. Кузьмичев // Молодые ученые – развитию Национальной технологической инициативы (ПОИСК). – 2023. – № 1. – С. 636-638.

154. Кузьмичев, В. Е. Проблемы генерирования виртуальных тканей для реалистичной цифровой одежды / В. Е. Кузьмичев, Е. В. Румянцев, В. М. Бузник // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. – 2023. – № 6(408). – С. 11-20.

155. Дунаевская, Т.Н. Размерная типология населения с основами анатомии и морфологии / Т.Н. Дунаевская, [и др.]. – М.: Легкая индустрия, 1980.

156. Женеви Патрик. Французский метод кройки и шитья : построение базовой выкройки, моделирование и сборка модной одежды / Патрик Женеви ; [пер. с фр.]. – Москва : Эксмо, 2019. – 272 с. : ил. – (Руководение. Шитье по-французски).

157. Женеви Патрик. Французский метод кройки и шитья : секреты плоского кроя модной одежды / Патрик Женеви ; [перевод с французского Е. С. Лоскутовой]. – Москва : Эксмо, 2021. – 352 с.: ил. – (Руководение. Шитье по-французски).

158. Коробцева, Н.А. Теоретические и методологические основы импрессивного подхода к проектированию одежды [Текст]: дис. док. тех. наук: – М. – 2005.

159. Сулейманова, Е.А. Математическое описание плоских разверток стана женской плечевой одежды силуэта «Трапеция»/ Е.А. Сулейманова, Ю.А. Коваленко, Н.В. Тихонова, А.Б. Михайлов// XXI Всероссийская научно-практическая конференция студентов и аспирантов «МОЛОДЕЖЬ. НАУКА. ТВОРЧЕСТВО» проходившей по программе II Международного форума «ИТ. НАУКА. КРЕАТИВ». –Омск. –2025. – С. 405-417.

160. Кузьмичев В.Е., Ахмедулова Н.И., Юдина Л.П. Художественно-конструктивный анализ и проектирование системы «фигура-одежда». Иваново: Иван. гос. текстильная акад., 2005. 64 с.

161. Adobe Illustrator. URL: <https://www.adobe.com/products/illustrator.html> (Дата обращения: 21.04.2025).

162. Сулейманова, Е. А. Формализация технологии создания цифровой формы 3D модели одежды / Е. А. Сулейманова, Ю. А. Коваленко, Н. В. Тихонова // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. – 2025. – № 3(417). – С. 211-222. – DOI 10.47367/0021-3497_2025_3_211.

163. Сулейманова, Е.А. Цифровое проектирование женской одежды разных силуэтных форм / Е.А. Сулейманова, Н.В. Тихонова, Ю.А. Коваленко// III Всероссийская конференции ученых, аспирантов и студентов с международным участием «Новации в процессах проектирования и производства изделий легкой промышленности». – Казань. –2025.– С. 149-159.

164. Сулейманова, Е. А. Анализ визуальной идентичности формообразования поверхности юбки «солнце» цифровой 3D модели и материального образца / Е. А. Сулейманова, Ю. А. Коваленко, Н. В. Тихонова // Костюмология. – 2025. – Т 10. – №2. – URL: <https://kostumologiya.ru/PDF/11TLKL225.pdf>.

165. Экономика легкой промышленности / Афанасьев В.А., Грызлова Т.А., Волынкин К.И., Полукаров В.Л. – Учебник для студентов вузов легкой пром-сти.- М.: Легкая индустрия. – 1979. – 390 с., ил.

166. Отраслевые типовые нормы времени на основные работы экспериментального цеха [Текст]. – М. : Министерство легкой промышленности СССР ЦНИИШП. – 1980. – 37 с.

ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ А – акты внедрения и апробации результатов диссертационного исследования

«УТВЕРЖДАЮ»

 Директор
 ООО «Харизма»
 _____ /Э.Т. Гаязова/
 «17» апреля 2025 г.

Акт

о внедрении в производство результатов диссертационной работы Сулеймановой Елены Александровны

Мы, нижеподписавшиеся, представитель ООО «Харизма» в лице директора Э.Т. Гаязовой, с одной стороны, и представители ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет» (ФГБОУ ВО КНИТУ) в лице заведующего кафедры «Конструирование одежды и обуви» (КОиО) Н.В. Тихоновой и аспиранта кафедры КОиО Е.А. Сулеймановой, с другой стороны, составили настоящий акт о том, что на вышеуказанном предприятии проведена апробация и внедрение в производство результатов диссертационного исследования Сулеймановой Е.А.

В процессе диссертационного исследования Е.А. Сулеймановой разработана технология создания и преобразования плечевой одежды цифрового костюма разных силуэтов и разных объемных форм, которая успешно апробирована на предприятии ООО «Харизма». Отличительной особенностью разработанной технологии является наличие базы данных, которая содержит отработанные плоские развертки деталей базовых конструктивных основ станов одежды плательной группы в цифровом формате и цифровые формы 3D моделей базовых форм и исходных модельных конструкций.

Внедрение в производство технологии создания и преобразования моделей одежды разных объемных форм позволило значительно сократить сроки разработки новых моделей одежды и расходы на производство.

Представитель ООО «Харизма»

Директор



Э.Т. Гаязова

Представители ФГБОУ ВО КНИТУ

Заведующий кафедры КОиО



Н.В. Тихонова

Аспирант кафедры КОиО



Е.А. Сулейманова



«УТВЕРЖДАЮ»

Зам. директора по производству

ООО «Сервис-МК»

/Е.Е. Горностаева/

«20» мая 2025 г.

Акт

производственной апробации технологии создания и преобразования моделей одежды разных объемных форм, разработанной по результатам диссертационного исследования Е.А. Сулеймановой, проведенного на кафедре «Конструирование одежды и обуви» ФГБОУ ВО КНИТУ

Комиссия в составе:

- председатель – заместитель директора по производству ООО «Сервис-МК» Е.Е. Горностаева;
- главный технолог ООО «Сервис-МК» – Л.Н. Давлетшина;
- главный конструктор ООО «Сервис-МК» – Н.Д. Тимербаева;
- технолог ООО «Сервис-МК» – Н.А. Бусыгина;

составили настоящий акт о том, что в производственных условиях работы экспериментального цеха ООО «Сервис-МК» апробирована технология создания и преобразования моделей одежды разных объемных форм, разработанная на кафедре «Конструирование одежды и обуви» ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет» (ФГБОУ ВО КНИТУ) аспирантом Е.А. Сулеймановой под руководством д.т.н. Н.В. Тихоновой.

Комиссия отмечает, что использование разработанной технологии проектирования базовых конструктивных основ женских изделий плательной группы способствует сокращению числа примерок и повышению производительности труда конструктора, экономии материалов за счёт использования отработанных цифровых 3D базовых форм и модельных конструкций, входящих в состав базы данных технологии.

Применение предлагаемой технологии позволит снизить затраты времени на проектирование конструкций на типовые фигуры, т.к. цифровые 3D базовые формы и модельные конструкции базы данных разработаны на женскую типовую фигуру второй полнотной группы базового размера 164-92-98.

Образцы моделей, входящие в базу данных разработанной технологии, отражают современные модные тенденции по соотношению силуэтных форм и их объемов и учитывают потребительский запрос.

Разработанная технология создания и преобразования моделей одежды разных объемных форм рекомендована для внедрения в условиях массового производства.

Представитель ООО «Сервис-МК»
Зам. директора по производству



Е.Е. Горностаева

Представители ФГБОУ ВО КНИТУ
Заведующий кафедры КОиО
Аспирант кафедры КОиО




Н.В. Тихонова

Е.А. Сулейманова

**ПРИЛОЖЕНИЕ Б – алгоритм построения и расчет конструктивных
участков чертежа базовой конструктивной основы**

Измерения, необходимые для построения чертежа базовой
конструктивной основы

Наименование измерения	Пояснение к измерению	Величина, см
Полуобхват шеи		17,8
Полуобхват груди		46
Полуобхват талии		35,8
Полуобхват бедер		49
Длина середины переда	Расстояние от верхнегрудной точки спереди по середине до линии талии	35,6
Длина середины спины	Расстояние от 7-го шейного позвонка посередине спины до линии талии	38,5
½ ширины плеч переда	Половина расстояния от одного предплечья до другого над грудью при опущенных вдоль тела руках	16,8
½ ширины плеч спины	Половина расстояния, измеренного горизонтально по выпуклости лопаток между задними углами подмышечных впадин при опущенных вдоль тела руках	17,7
Длина плеча		13,2
Высота груди	Расстояние от верхнегрудной точки до сосковой точки	22,3
Высота бедер	Принятая методикой фиксированная величина равная 22 см от линии талии	22
Высота бедер 1	Принятая методикой фиксированная величина равная 9 см от линии талии	

Алгоритм построения и расчет конструктивных участков чертежа базовой конструктивной основы

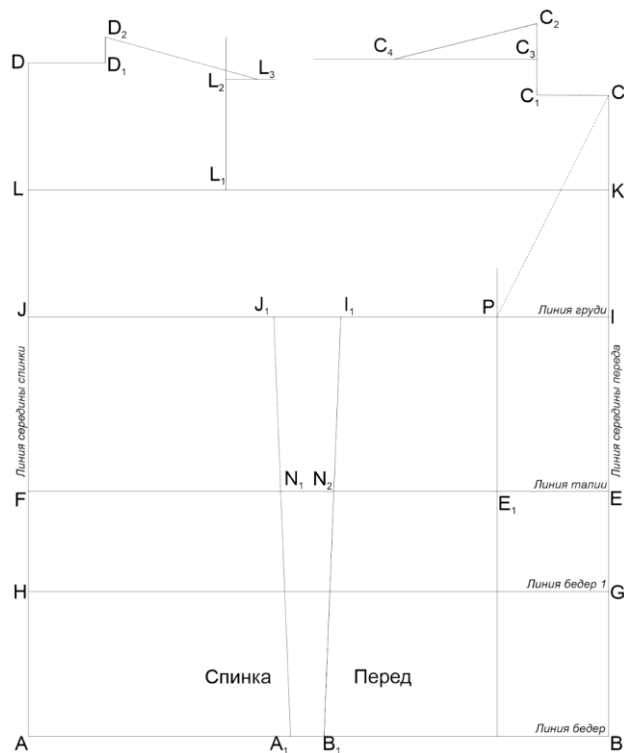
Обозначение конструктивного участка	Расчетная формула или используемое измерение	Расчет значения, см
AB	полуобхват бедер + 3 см	52
BE=AF	высота бедер	22
EG=FN	высота бедер 1	9
FD	длина середины спинки	38,5
EC	длина середины переда	35,6
EE1	$\frac{1}{2}$ центра груди	10
CP	высота груди	22,3
IJ	через Р провести горизонтальную линию груди	по построению
DL	$\frac{1}{2}$ DJ	11,4
LK	LK JI	по построению
Ширина бедер спинки AA1	$\frac{1}{2}$ полуобхвата бедер - 1 см	23,5
Ширина бедер переда BB1	$\frac{1}{2}$ полуобхвата бедер + 1 см	25,5
Ширина груди спинки JJ1	$\frac{1}{2}$ полуобхвата груди - 1 см	22
Ширина груди переда II1	$\frac{1}{2}$ полуобхвата груди + 1 см	24
A1J1	соединить точки A1 и J1	по построению
B1I1	соединить точки B1 и I1	по построению
Ширина горловины переда CC1	$\frac{1}{3}$ полуобхвата шеи + 0,5 см	6,4
Глубина горловины	CC1	6,4

передаC1C2		
C1C3	$\frac{1}{2}$ C1C2; через C3 провести влево горизонтальную линию 20 см	3,2
C2C4	длина плеча	13,2
Ширина горловины спинкиDD1	$\frac{1}{3}$ полуобхвата шеи + ($\frac{1}{3}$ полуобхвата шеи) / 6	6,9
Глубина горловины спинкиD1D2	$\frac{1}{3}$ DD1	2,3
LL1	$\frac{1}{2}$ ширины плеч спинки	17,7
L1L2	DD1+3; через L2 провести вправо горизонтальную линию 10 см	9,9
D2L3	длина плеча + раствор плечевой вытачки (1 см)	14,2
D2D3	$\frac{1}{2}$ длины плеча	6,6
L4L3	$\frac{1}{2}$ длины плеча	6,6
Сумма всех вытачек	(FN1+N2E) - полуобхват талии	11,6
Вытачки на спинке	FF1=1 см, середина спинки	1
	Q1Q2=3 см, центральная	3
	FQ=8,5 см	8,5
	Q1 соединить с D3, на пересечении с линией L поставить точку U	по построению
	UV=UT/4	2,9
	V1 на 9 см выше линии бедер	9
	Q2S= $\frac{1}{2}$ Q2M1	5,9
	S1S2=1 см, ближе к боковому шву	1

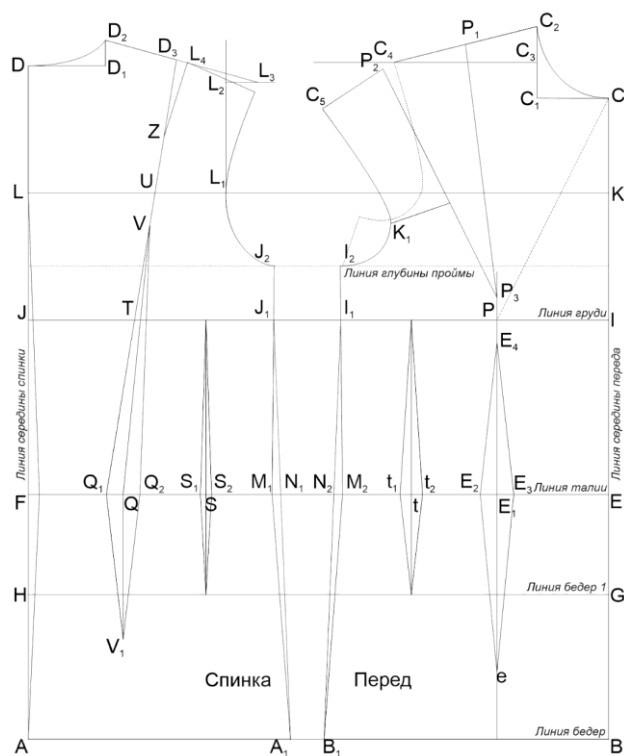
	от линии J до линии H	
Вытачки на перед	E2E3=3 см центральная	3
	PE4=2 см	2
	е на 6 см выше линии бедер	6
	E2t=½ E2M2	6,2
	t1t2=2 см, ближе к боковому шву от линии I до линии G	2
Вытачки в боковых швах	сумма всех вытачек - сумма вытачек на перед и спинке (10 см) N1M1=N2M2, отложить по ½ раствора вытачки	1,6
Линия проймы M1J2=M2I2	(длина середины спинки + длина середины переда) / 4+2 см	20,5
KK1	½ ширины плеч переда по перпендикуляру к точке K при совмещении сторон нагрудной вытачки	16,8
Длина плечевой вытачки спинки	D3Z=7см	7
	раствор вытачки=1 см	1
Нагрудная вытачка	C2P1=½ длины плеча	6,6
	P1P2=1/12 обхвата груди, раствор плечевой вытачки	7,7
	PP3=2 см	2
P2C5	P1C4 на продолжении линии C2P1 при совмещении сторон нагрудной вытачки	по построению

ПРИЛОЖЕНИЕ В – чертеж базовой конструктивной основы стана женского платья размера 164-92-98

Чертеж базисной сетки базовой конструктивной основы стана

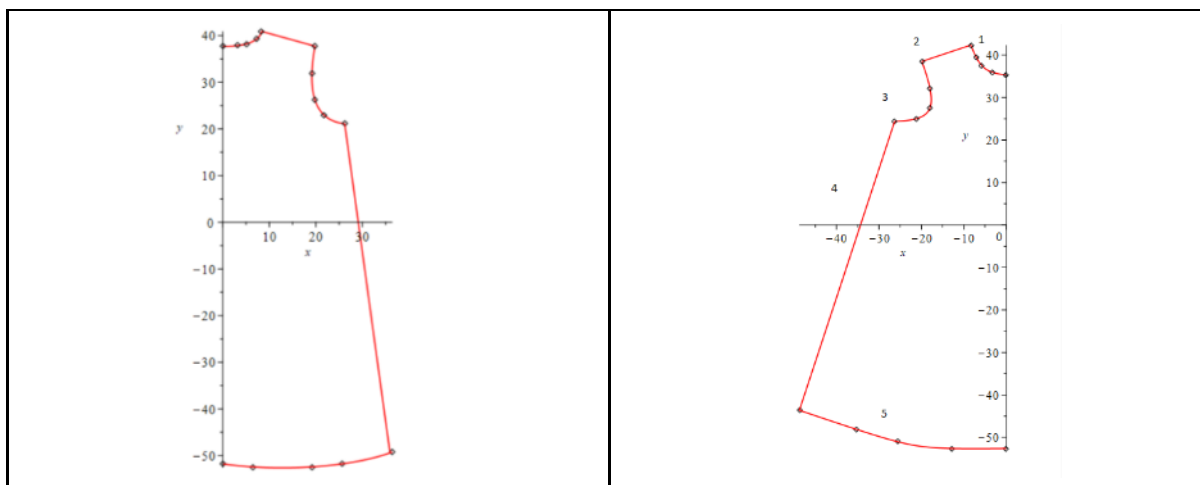


Чертеж базовой конструктивной основы стана



**ПРИЛОЖЕНИЕ Г – графические интерпретации контуров деталей
женских платьев размера 164-92-98 разных силуэтно-объемных форм
и их математическое описание**

**Графическая интерпретация и математическое описание контуров
деталей МК1_1**



Математическое описание:

1. Спинка.

$k=6.392857143$

1) $-0.0001193936400 \cdot x^2 - 0.0001960953290 \cdot x \cdot y - 0.0005571702815 \cdot y^2 + 0.007585955704 \cdot x + 0.04752790992 \cdot y = 1$

2) $(x - 1.3 \cdot k) / (3.1 \cdot k - 1.3 \cdot k) = (y - 6.4 \cdot k) / (5.9 \cdot k - 6.4 \cdot k)$

3) $-0.001605750521 \cdot x^2 + 0.003124013972 \cdot x \cdot y - 0.001175606219 \cdot y^2 + 0.02363706874 \cdot x + 0.01324356357 \cdot y = 1$

4) $(x - 4.1 \cdot k) / (5.7 \cdot k - 4.1 \cdot k) = (y - 3.3 \cdot k) / (-7.7 \cdot k - 3.9 \cdot k)$

5) $-0.00004668245914 \cdot x^2 - 5.711283620 \cdot 10^{(-13)} \cdot x \cdot y - 0.0005391822708 \cdot y^2 + 0.001193737140 \cdot x - 0.04723169004 \cdot y = 1$

6) $x=0$.

2. Перед.

$k=6.414814815$

1) $-0.0001780574958 \cdot x^2 - 0.007083546746 \cdot x \cdot y - 0.002194162909 \cdot y^2 + 0.2437954136 \cdot x + 0.1057567990 \cdot y = 1$

2) $(x + 1.3 \cdot k) / (-3.1 \cdot k + 1.3 \cdot k) = (y - 6.6 \cdot k) / (6 \cdot k - 6.6 \cdot k)$

3) $-0.003776257670 \cdot x^2 - 0.03535219910 \cdot x \cdot y - 0.01566745195 \cdot y^2 + 0.6482237528 \cdot x + 0.2997074976 \cdot y = 1$

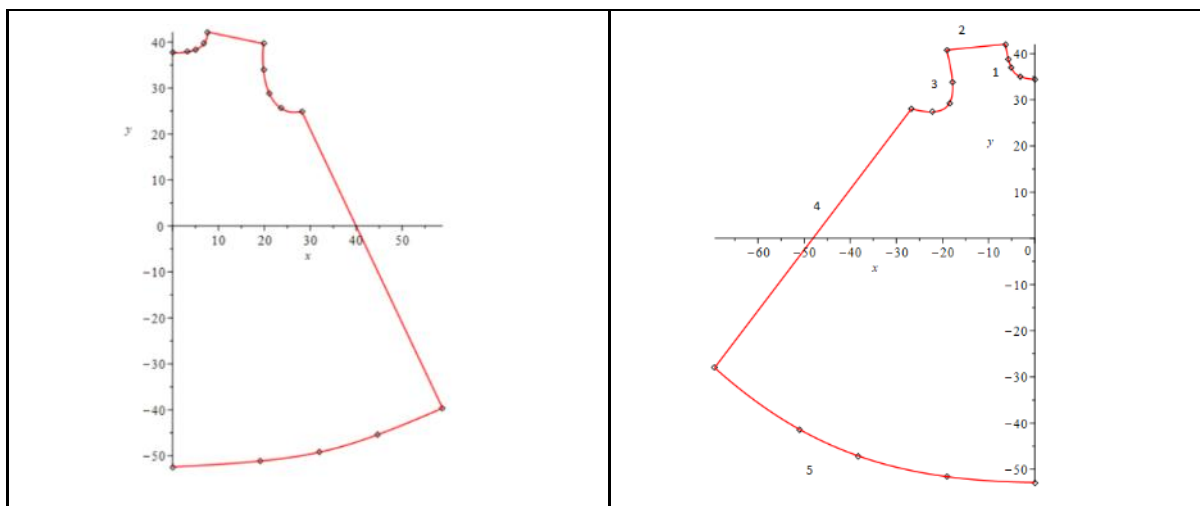
4) $(x + 4.1 \cdot k) / (-7.6 \cdot k + 4.1 \cdot k) = (y - 3.8 \cdot k) / (-6.8 \cdot k - 3.8 \cdot k)$

5) $2.377386028 \cdot 10^{(-6)} \cdot x^2 - 0.0001008693411 \cdot x \cdot y - 0.0003124572031 \cdot y^2 - 0.005275375796 \cdot x - 0.03544658318 \cdot y = 1$

6) $x=0$.

Графическая интерпретация и математическое описание контуров

деталей МК1_2



Математическое описание:

1. Спинка.

$k := 6.392857143$

1) $-0.0002236165929 \cdot x^2 - 0.0007470284496 \cdot x \cdot y - 0.0004397256300 \cdot y^2 + 0.02859176332 \cdot x + 0.04309814934 \cdot y = 1$

2) $(x - 1.2 \cdot k) / (3.1 \cdot k - 1.2 \cdot k) = (y - 6.6 \cdot k) / (6.2 \cdot k - 6.6 \cdot k)$

3) $-0.001195260335 \cdot x^2 + 0.0006441775380 \cdot x \cdot y - 0.0003935375056 \cdot y^2 + 0.04747925288 \cdot x + 0.01616581568 \cdot y = 1$

4) $(x - 4.4 \cdot k) / (9.2 \cdot k - 4.4 \cdot k) = (y - 3.9 \cdot k) / (-6.2 \cdot k - 3.9 \cdot k)$

5) $-3.306664742 \cdot 10^{(-6)} \cdot x^2 + 0.0001370431217 \cdot x \cdot y - 0.0002745061411 \cdot y^2 + 0.007408003186 \cdot x - 0.03346617250 \cdot y = 1$

6) $x=0$.

2. Перед.

$k := 6.367647059$

1) $-0.0001171066992 \cdot x^2 + 0.01498973368 \cdot x \cdot y + 0.001756609801 \cdot y^2 - 0.5072237236 \cdot x - 0.03131934468 \cdot y = 1$

2) $(x + k) / (-3 \cdot k + k) = (y - 6.6 \cdot k) / (6.4 \cdot k - 6.6 \cdot k)$

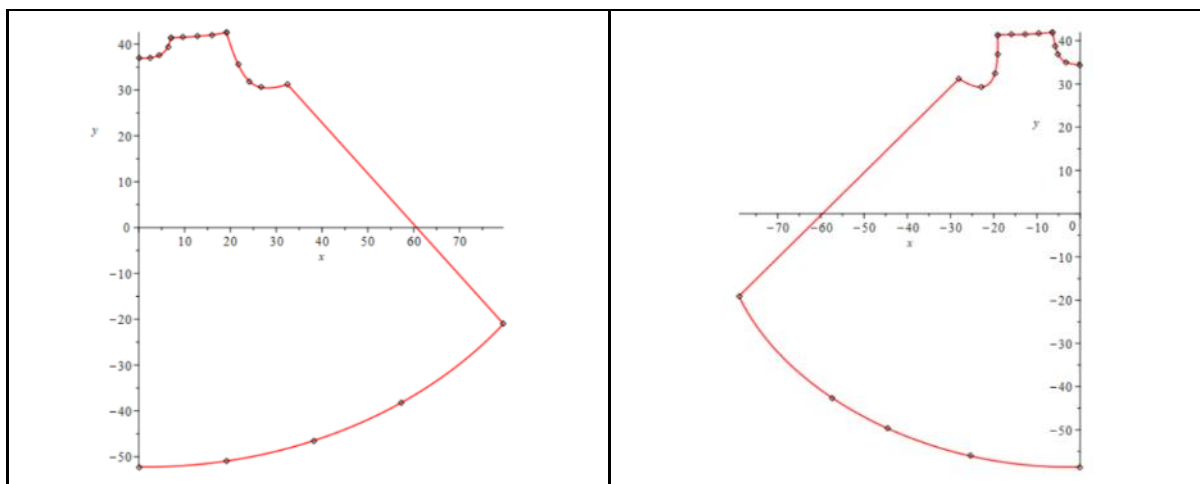
3) $-0.005466516611 \cdot x^2 - 0.01276399928 \cdot x \cdot y - 0.004293632787 \cdot y^2 + 0.1038648413 \cdot x + 0.05332293072 \cdot y = 1$

4) $(x + 4.2 \cdot k) / (-10.9 \cdot k + 4.2 \cdot k) = (y - 4.4 \cdot k) / (-4.4 \cdot k - 4.4 \cdot k)$

5) $0.00003114937907 \cdot x^2 - 0.0001396165585 \cdot x \cdot y - 0.00009901500006 \cdot y^2 - 0.007527020508 \cdot x - 0.02415403774 \cdot y = 1$

6) $x=0$.

Графическая интерпретация и математическое описание контуров деталей МК1_3



Математическое описание:

1. Спинка.

$k=6.367647059$

$$1) -0.0004460664891 \cdot x^2 - 0.002955696210 \cdot x \cdot y - 0.00004452570829 \cdot y^2 + 0.1094020688 \cdot x + 0.02872097020 \cdot y = 1$$

$$2) -5.204030220 \cdot 10^{(-6)} \cdot x^2 + 0.00005035167088 \cdot x \cdot y - 0.0005674180012 \cdot y^2 - 0.002044391414 \cdot x + 0.04764531984 \cdot y = 1$$

$$3) 0.001397266602 \cdot x^2 - 0.002583712640 \cdot x \cdot y - 0.0006756890520 \cdot y^2 + 0.0002337532686 \cdot x + 0.08956671324 \cdot y = 1$$

$$4) (x - 5.1 \cdot k) / (12.5 \cdot k - 5.1 \cdot k) = (y - 4.9 \cdot k) / (-3.3 \cdot k - 4.9 \cdot k)$$

$$5) 0.0001228820394 \cdot x^2 - 7.769228820 \cdot 10^{(-6)} \cdot x \cdot y + 0.0002004207414 \cdot y^2 - 0.0007857579436 \cdot x - 0.008686782606 \cdot y = 1$$

$$6) x=0.$$

2. Перед.

$k := 6.367647059$

$$1) -0.0001171066992 \cdot x^2 + 0.01498973368 \cdot x \cdot y + 0.001756609801 \cdot y^2 - 0.5072237236 \cdot x - 0.03131934468 \cdot y = 1$$

$$2) -5.609511169 \cdot 10^{(-8)} \cdot x^2 + 0.0001234112511 \cdot x \cdot y - 0.0005609698596 \cdot y^2 - 0.005099561336 \cdot x + 0.04738334316 \cdot y = 1$$

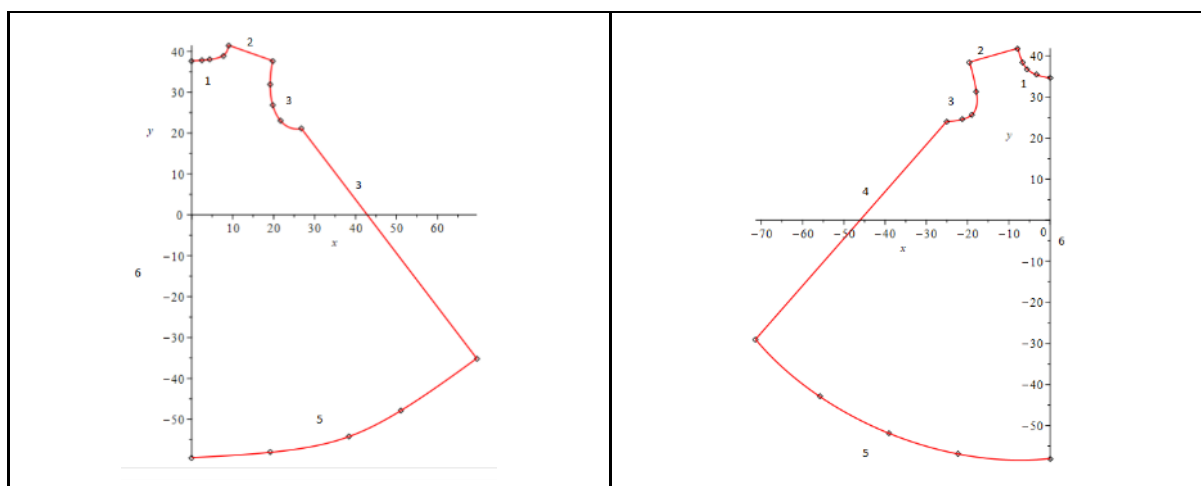
$$3) -0.005496777713 \cdot x^2 - 0.005891165632 \cdot x \cdot y - 0.0009489952481 \cdot y^2 - 0.08141388846 \cdot x - 0.03821132888 \cdot y = 1$$

$$4) (x + 4.4 \cdot k) / (-12.4 \cdot k + 4.4 \cdot k) = (y - 4.9 \cdot k) / (-3 \cdot k - 4.9 \cdot k)$$

$$5) 0.0002389248831 \cdot x^2 + 0.0001075162106 \cdot x \cdot y + 0.0005017422613 \cdot y^2 + 0.007591733606 \cdot x + 0.01232325529 \cdot y = 1$$

$$6) x=0.$$

Графическая интерпретация и математическое описание контуров деталей МК1_4



Математическое описание:

1. Спинка.

$k := 6.383443709$

1) $-0.00003063223105 \cdot x^2 - 0.001142106861 \cdot x \cdot y - 0.0003540976646 \cdot y^2 + 0.04257989912 \cdot x + 0.03988787688 \cdot y = 1$

2) $(x - 1.4 \cdot k) / (3.1 \cdot k - 1.4 \cdot k) = (y - 6.5 \cdot k) / (5.9 \cdot k - 6.5 \cdot k)$

3) $-0.001193759808 \cdot x^2 + 0.0004855972130 \cdot x \cdot y - 0.0004451307704 \cdot y^2 + 0.05144347288 \cdot x + 0.01908949322 \cdot y = 1$

4) $(x - 4.2 \cdot k) / (10.9 \cdot k - 4.2 \cdot k) = (y - 3.3 \cdot k) / (-5.5 \cdot k - 3.3 \cdot k)$

5) $-2.596403652 \cdot 10^{(-6)} \cdot x^2 + 0.0001458787723 \cdot x \cdot y - 0.0001826243381 \cdot y^2 + 0.008939464892 \cdot x - 0.02768633234 \cdot y = 1$

6) $x=0$.

2. Перед.

$k := 5.580000000$

1) $0.0007158863009 \cdot x^2 + 0.01057473997 \cdot x \cdot y + 0.001501484376 \cdot y^2 - 0.3517711810 \cdot x - 0.02304027776 \cdot y = 1$

2) $(x + 1.4 \cdot k) / (-3.5 \cdot k + 1.4 \cdot k) = (y - 7.5 \cdot k) / (6.9 \cdot k - 7.5 \cdot k)$

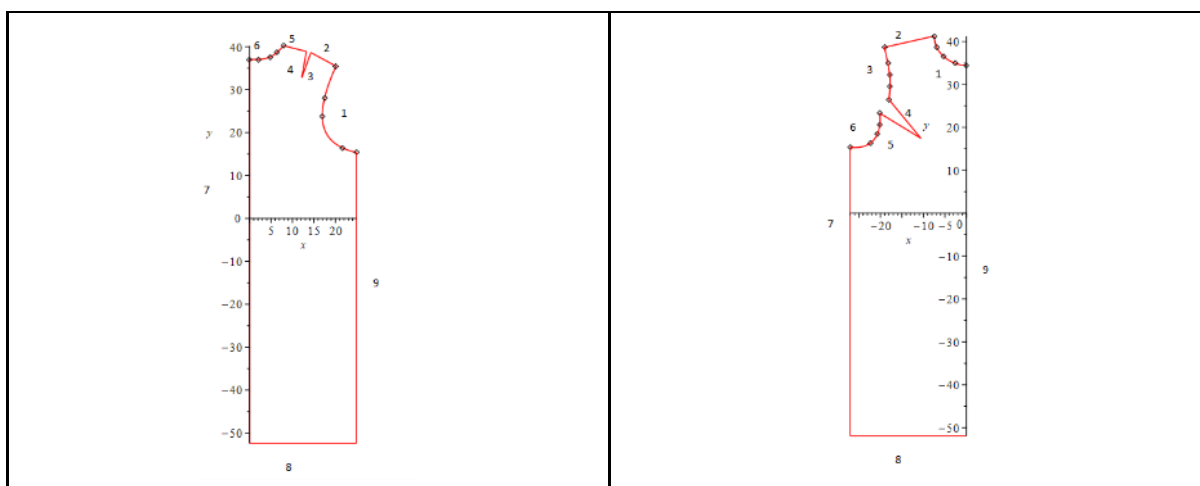
3) $0.001210540909 \cdot x^2 + 0.01447146632 \cdot x \cdot y + 0.005007237397 \cdot y^2 - 0.2768247344 \cdot x - 0.03659883356 \cdot y = 1$

4) $(x + 4.5 \cdot k) / (-12.8 \cdot k + 4.5 \cdot k) = (y - 4.3 \cdot k) / (-5.2 \cdot k - 4.3 \cdot k)$

5) $0.0006165845627 \cdot x^2 + 0.0005073090264 \cdot x \cdot y + 0.001116534101 \cdot y^2 + 0.03859714164 \cdot x + 0.04756283488 \cdot y = 1$

6) $x=0$.

Графическая интерпретация и математическое описание контуров деталей МК2_1



Математическое описание:

1. Спинка.

$k := 5.295857988$

1) $-0.0006922883814 \cdot x^2 + 0.003132531672 \cdot x \cdot y - 0.002070646190 \cdot y^2 + 0.0003360602860 \cdot x + 0.04632541842 \cdot y = 1$

2) $(x - 3.8 \cdot k) / (2.7 \cdot k - 3.8 \cdot k) = (y - 6.7 \cdot k) / (7.3 \cdot k - 6.7 \cdot k)$

3) $(x - 2.3 \cdot k) / (2.7 \cdot k - 2.3 \cdot k) = (y - 6.2 \cdot k) / (7.3 \cdot k - 6.2 \cdot k)$

4) $(x - 2.3 \cdot k) / (2.5 \cdot k - 2.3 \cdot k) = (y - 6.2 \cdot k) / (7.35 \cdot k - 6.2 \cdot k)$

5) $(x - 1.5 \cdot k) / (2.5 \cdot k - 1.5 \cdot k) = (y - 7.6 \cdot k) / (7.35 \cdot k - 7.6 \cdot k)$

6) $0.0001087225930 \cdot x^2 + 0.001087225783 \cdot x \cdot y - 0.0009241418641 \cdot y^2 - 0.04053486518 \cdot x + 0.06123412790 \cdot y = 1$

7) $x = 0$

8) $y = -9.9 \cdot k$,

9) $x = 4.7 \cdot k$

2. Перед.

$k = 5.306748466$

1) $-0.0004484036714 \cdot x^2 - 0.00007971623848 \cdot x \cdot y - 0.0006227828993 \cdot y^2 + 0.003055425596 \cdot x + 0.05048838298 \cdot y = 1$

2) $(x + 1.4 \cdot k) / (-3.6 \cdot k + 1.4 \cdot k) = (y - 7.8 \cdot k) / (7.3 \cdot k - 7.8 \cdot k)$

3) $-0.004839467134 \cdot x^2 - 0.0004172770944 \cdot x \cdot y + 0.0001890487304 \cdot y^2 - 0.1519802906 \cdot x - 0.01884601731 \cdot y = 1$

4) $(x + 3.4 \cdot k) / (-2 \cdot k + 3.4 \cdot k) = (y - 5 \cdot k) / (3.3 \cdot k - 5 \cdot k)$

5) $(x + 2 \cdot k) / (-3.8 \cdot k + 2 \cdot k) = (y - 3.3 \cdot k) / (4.4 \cdot k - 3.3 \cdot k)$

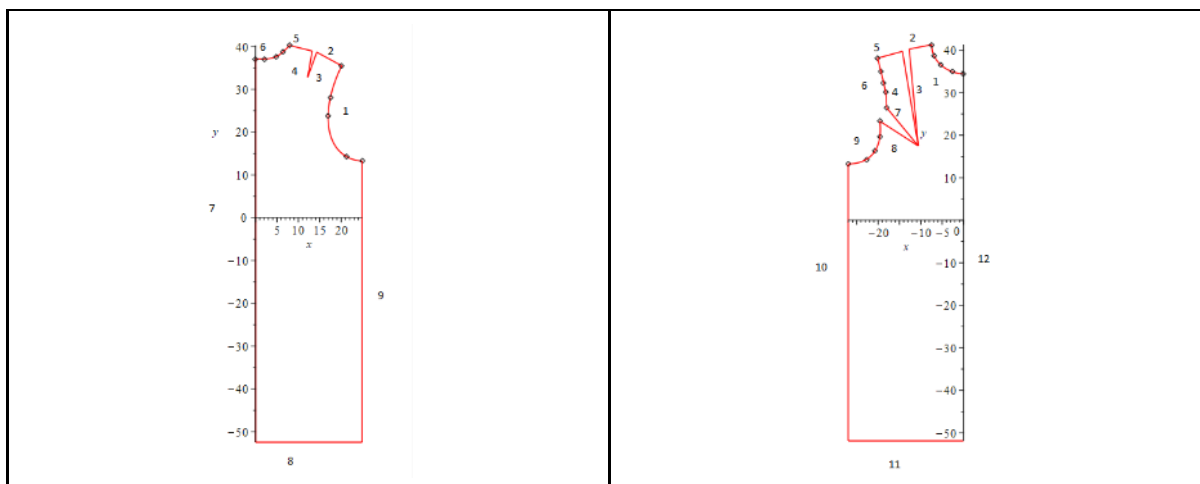
6) $-0.001558057067 \cdot x^2 - 0.001919070232 \cdot x \cdot y - 0.001235045226 \cdot y^2 - 0.05150993180 \cdot x + 0.01566731123 \cdot y = 1$

7) $x = -5.1 \cdot k$,

8) $y = -9.8 \cdot k$

9) $x = 0$.

Графическая интерпретация и математическое описание контуров деталей МК2_2



Математическое описание:

1. Спинка.

$k := 5.295857988$

1) $-0.001290585817 \cdot x^2 + 0.001072721661 \cdot x \cdot y - 0.0009088048076 \cdot y^2 + 0.05155408316 \cdot x + 0.02433262188 \cdot y = 1$

2) $(x - 3.8 \cdot k) / (2.7 \cdot k - 3.8 \cdot k) = (y - 6.7 \cdot k) / (7.3 \cdot k - 6.7 \cdot k)$

3) $(x - 2.3 \cdot k) / (2.7 \cdot k - 2.3 \cdot k) = (y - 6.2 \cdot k) / (7.3 \cdot k - 6.2 \cdot k)$

4) $(x - 2.3 \cdot k) / (2.5 \cdot k - 2.3 \cdot k) = (y - 6.2 \cdot k) / (7.35 \cdot k - 6.2 \cdot k)$

5) $(x - 1.5 \cdot k) / (2.5 \cdot k - 1.5 \cdot k) = (y - 7.6 \cdot k) / (7.35 \cdot k - 7.6 \cdot k)$

6) $0.0001087225930 \cdot x^2 + 0.001087225783 \cdot x \cdot y - 0.0009241418641 \cdot y^2 - 0.04053486518 \cdot x + 0.06123412790 \cdot y = 1$

7) $x=0$

8) $y=-9.9$

9) $x=4.7$.

2. Перед.

$k := 5.312883436$

1) $-0.0004484036714 \cdot x^2 - 0.00007971623848 \cdot x \cdot y - 0.0006227828993 \cdot y^2 + 0.003055425596 \cdot x + 0.05048838298 \cdot y = 1$

2) $(x + 1.4 \cdot k) / (-2.4 \cdot k + 1.4 \cdot k) = (y - 7.8 \cdot k) / (7.6 \cdot k - 7.8 \cdot k)$

3) $(x + 2.4 \cdot k) / (-2 \cdot k + 2.4 \cdot k) = (y - 7.6 \cdot k) / (3.3 \cdot k - 7.6 \cdot k)$

4) $(x + 2 \cdot k) / (-2.7 \cdot k + 2 \cdot k) = (y - 3.3 \cdot k) / (7.5 \cdot k - 3.3 \cdot k)$

5) $(x + 2.7 \cdot k) / (-3.8 \cdot k + 2.7 \cdot k) = (y - 7.5 \cdot k) / (7.2 \cdot k - 7.5 \cdot k)$

6) $-0.005450596523 \cdot x^2 - 0.001434820702 \cdot x \cdot y - 0.00001077185896 \cdot y^2 - 0.1530594899 \cdot x - 0.02512788866 \cdot y = 1$

7) $(x + 3.4 \cdot k) / (-2 \cdot k + 3.4 \cdot k) = (y - 5 \cdot k) / (3.3 \cdot k - 5 \cdot k)$

8) $(x + 2 \cdot k) / (-3.7 \cdot k + 2 \cdot k) = (y - 3.3 \cdot k) / (4.4 \cdot k - 3.3 \cdot k)$

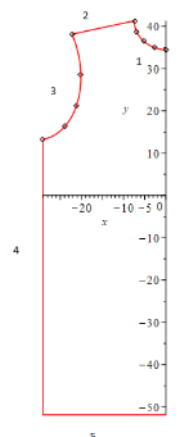
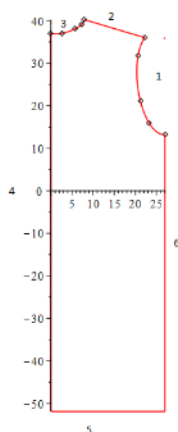
9) $-0.001370829519 \cdot x^2 - 0.001895828251 \cdot x \cdot y - 0.001224996621 \cdot y^2 - 0.04935063698 \cdot x + 0.01539986833 \cdot y = 1$

10) $x = -5.1 \cdot k$

11) $y = -9.8 \cdot k$

12) $x=0$.

Графическая интерпретация и математическое описание контуров деталей МК2_3



Математическое описание:

1. Спинка.

$k := 5.327380952$

1) $-0.001141671444 \cdot x^2 - 0.0002253536452 \cdot x \cdot y - 0.0002157014232 \cdot y^2 + 0.06407955446 \cdot x + 0.01665472882 \cdot y = 1$

2) $(x - 4.2 \cdot k) / (1.5 \cdot k - 4.2 \cdot k) = (y - 6.8 \cdot k) / (7.6 \cdot k - 6.8 \cdot k)$

3) $-0.0001655708779 \cdot x^2 + 0.0003545979558 \cdot x \cdot y - 0.0006857397483 \cdot y^2 - 0.01270688299 \cdot x + 0.05239632164 \cdot y = 1$

4) $x = 0$

5) $y = -9.8 \cdot k$

6) $x = 5.1 \cdot k$.

2. Перед.

$k := 5.312883436$

1) $-0.0004484036714 \cdot x^2 - 0.00007971623848 \cdot x \cdot y - 0.0006227828993 \cdot y^2 + 0.003055425596 \cdot x + 0.05048838298 \cdot y = 1$

2) $(x + 1.4 \cdot k) / (-4.2 \cdot k + 1.4 \cdot k) = (y - 7.8 \cdot k) / (7.2 \cdot k - 7.8 \cdot k)$

3) $-0.0008568245771 \cdot x^2 - 0.0001851626514 \cdot x \cdot y - 0.0004316264614 \cdot y^2 - 0.05014926116 \cdot x + 0.02042887722 \cdot y = 1$

4) $x = -5.5 \cdot k$

5) $y = -9.8 \cdot k$

6) $x = 0$.

Графическая интерпретация и математическое описание контуров деталей МК2_4



Математическое описание:

1. Спинка.

$k := 5.327380952$

1) $-0.001231159315 \cdot x^2 + 0.0006208142394 \cdot x \cdot y - 0.0004507675785 \cdot y^2 + 0.06565315644 \cdot x + 0.001340562805 \cdot y = 1$

2) $-0.00009213295103 \cdot x^2 - 0.0003975346494 \cdot x \cdot y - 0.0004692975128 \cdot y^2 + 0.01867115256 \cdot x + 0.04324818540 \cdot y = 1$

3) $(x - 3.1 \cdot k) / (1.6 \cdot k - 3.1 \cdot k) = (y - 7.45 \cdot k) / (7.8 \cdot k - 7.45 \cdot k)$

4) $-0.0002498412565 \cdot x^2 - 0.0001437704329 \cdot x \cdot y - 0.0005530729324 \cdot y^2 + 0.005991276476 \cdot x + 0.04747822932 \cdot y = 1$

5) $x = 0$

6) $y = -9.8 \cdot k$

7) $x = 5.5 \cdot k$.

2. Перед.

$k := 5.312883436$

1) $-0.0005192758757 \cdot x^2 + 0.0002315240466 \cdot x \cdot y - 0.0005333327706 \cdot y^2 - 0.007385611662 \cdot x + 0.04740923432 \cdot y = 1$

2) $(x + 1.45 \cdot k) / (-3 \cdot k + 1.45 \cdot k) = (y - 7.7 \cdot k) / (7.3 \cdot k - 7.7 \cdot k)$

3) $-0.0001101746102 \cdot x^2 + 0.0004406981496 \cdot x \cdot y - 0.0004820133875 \cdot y^2 - 0.02045787356 \cdot x + 0.04381483514 \cdot y = 1$

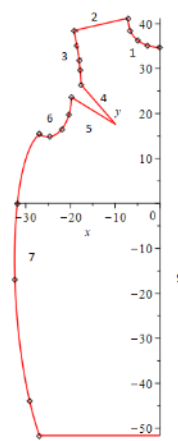
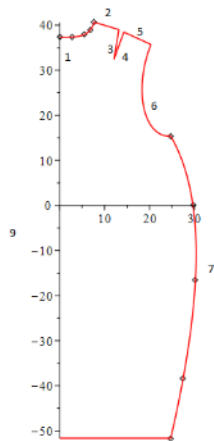
4) $-0.001810154796 \cdot x^2 - 0.01028555493 \cdot x \cdot y - 0.005428174149 \cdot y^2 - 0.02748918922 \cdot x - 0.05800084350 \cdot y = 1$

5) $x = -5.5 \cdot k$

6) $y = -9.8 \cdot k$

7) $x = 0$.

Графическая интерпретация и математическое описание контуров деталей МКЗ_1



Математическое описание:

1. Спинка.

$k := 5.493827160$

1) $-0.0005347734817 \cdot x^2 - 0.004248478556 \cdot x \cdot y + 0.0002970966002 \cdot y^2 + 0.1601837434 \cdot x + 0.01566906845 \cdot y = 1$

2) $(x - 1.4 \cdot k) / (2.4 \cdot k - 1.4 \cdot k) = (y - 7.4 \cdot k) / (7.1 \cdot k - 7.4 \cdot k)$

3) $(x - 2.4 \cdot k) / (2.2 \cdot k - 2.4 \cdot k) = (y - 7.1 \cdot k) / (5.9 \cdot k - 7.1 \cdot k)$

4) $(x - 2.2 \cdot k) / (2.6 \cdot k - 2.2 \cdot k) = (y - 5.9 \cdot k) / (7 \cdot k - 5.9 \cdot k)$

5) $(x - 2.6 \cdot k) / (3.7 \cdot k - 2.6 \cdot k) = (y - 7 \cdot k) / (6.5 \cdot k - 7 \cdot k)$

6) $-0.001459953734 \cdot x^2 + 0.0005018183446 \cdot x \cdot y - 0.0004954830122 \cdot y^2 + 0.06343646594 \cdot x + 0.01627946275 \cdot y = 1$

7) $0.0002239849606 \cdot x^2 - 0.0006337860952 \cdot x \cdot y + 0.0002442693440 \cdot y^2 + 0.02706297802 \cdot x + 0.02452562616 \cdot y = 1$

8) $y = -9.4 \cdot k$

9) $x = 0$.

2. Перед.

$k := 5.493827160$

1) $-0.0002112431385 \cdot x^2 + 0.001175951989 \cdot x \cdot y - 0.0004146984014 \cdot y^2 - 0.03906502836 \cdot x + 0.04324562830 \cdot y = 1$

2) $(x + 1.3 \cdot k) / (-3.5 \cdot k + 1.3 \cdot k) = (y - 7.5 \cdot k) / (7 \cdot k - 7.5 \cdot k)$

3) $-0.005980536804 \cdot x^2 - 0.001751442471 \cdot x \cdot y - 0.00009611570114 \cdot y^2 - 0.1574273616 \cdot x - 0.02519353476 \cdot y = 1$

4) $(x + 3.2 \cdot k) / (-1.8 \cdot k + 3.2 \cdot k) = (y - 4.8 \cdot k) / (3.2 \cdot k - 4.8 \cdot k)$

5) $(x + 1.8 \cdot k) / (-3.6 \cdot k + 1.8 \cdot k) = (y - 3.2 \cdot k) / (4.3 \cdot k - 3.2 \cdot k)$

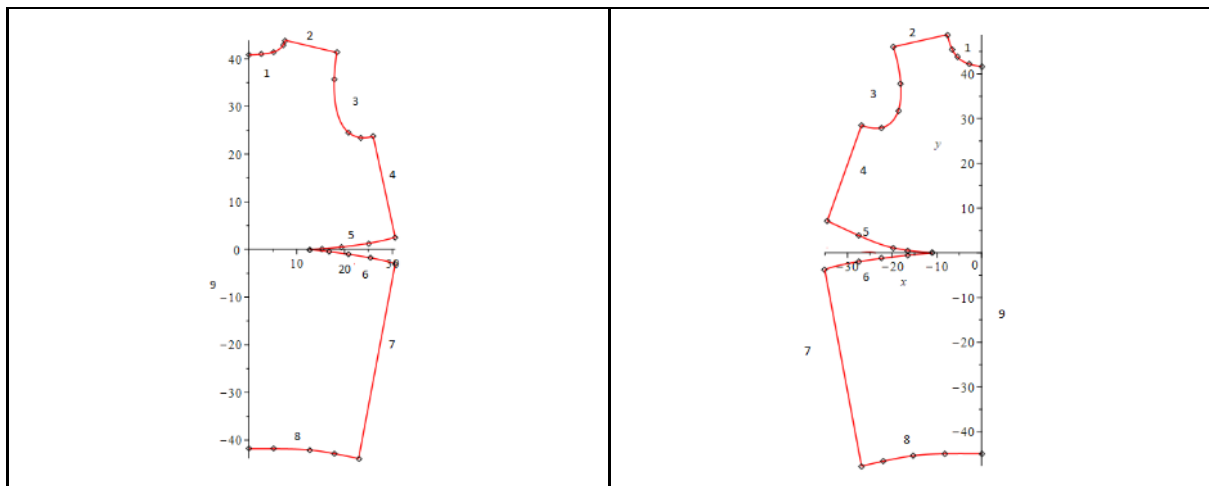
6) $-0.001271152548 \cdot x^2 - 0.00003446985772 \cdot x \cdot y - 0.0004375256348 \cdot y^2 - 0.06317004130 \cdot x + 0.02014631320 \cdot y = 1$

7) $0.001881165979 \cdot x^2 - 0.0002457575540 \cdot x \cdot y - 0.0001198610018 \cdot y^2 - 0.09132502914 \cdot x - 0.01096180381 \cdot y = 1$

8) $y = -9.4 \cdot k$

9) $x = 0$.

Графическая интерпретация и математическое описание контуров деталей МКЗ_2



Математическое описание:

1. Спинка.

$k := 5.099715100$

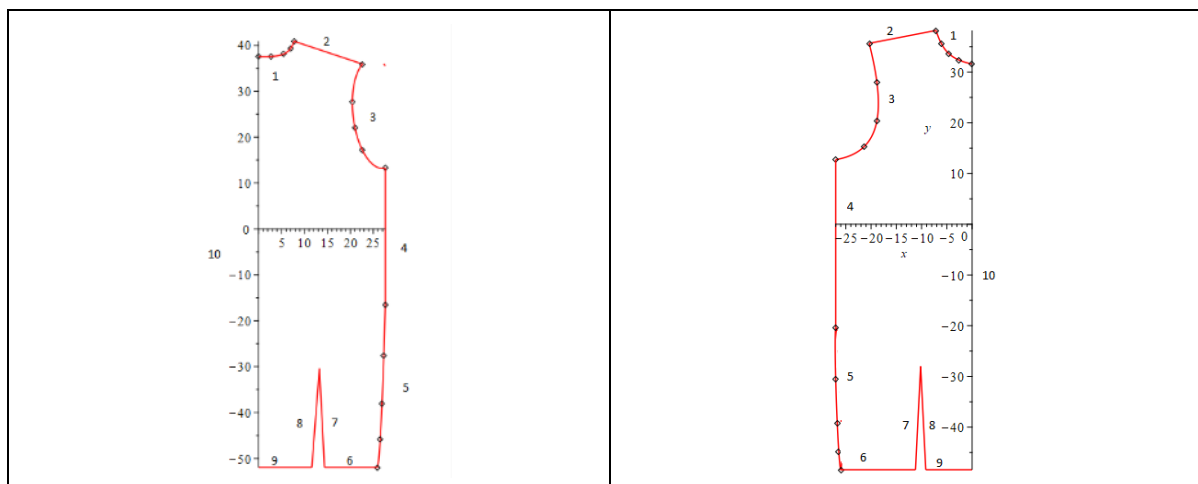
- 1) $-0.00009531566070 \cdot x^2 - 0.003157772840 \cdot x \cdot y + 0.00008825524913 \cdot y^2 + 0.1278685710 \cdot x + 0.02091056018 \cdot y = 1$
- 2) $(x - 1.5 \cdot k) / (3.6 \cdot k - 1.5 \cdot k) = (y - 8.6 \cdot k) / (8.1 \cdot k - 8.6 \cdot k)$
- 3) $-0.001820750028 \cdot x^2 + 0.001579019022 \cdot x \cdot y - 0.0005699561768 \cdot y^2 + 0.05048961092 \cdot x + 0.01117963394 \cdot y = 1$
- 4) $(x - 5.1 \cdot k) / (6 \cdot k - 5.1 \cdot k) = (y - 4.65 \cdot k) / (0.5 \cdot k - 4.65 \cdot k)$
- 5) $0.1972058198 \cdot x^2 - 0.2332833990 \cdot x \cdot y + 5.162072648 \cdot y^2 - 2.435797988 \cdot x - 48.81265384 \cdot y = 1$
- 6) $-0.01514737997 \cdot x^2 - 0.1724470957 \cdot x \cdot y - 0.6525025123 \cdot y^2 + 0.2715540600 \cdot x + 1.033925815 \cdot y = 1$
- 7) $(x - 6 \cdot k) / (4.5 \cdot k - 6 \cdot k) = (y + 0.6 \cdot k) / (-8.6 \cdot k + 0.6 \cdot k)$
- 8) $1.149398160 \cdot 10^{(-6)} \cdot x^2 - 0.0001285880203 \cdot x \cdot y - 0.0006177971727 \cdot y^2 - 0.005383112208 \cdot x - 0.04974817416 \cdot y = 1$
- 9) $x=0$.

2. Перед.

$k := 5.48037974$

- 1) $-0.0002616158032 \cdot x^2 + 0.004135367200 \cdot x \cdot y + 0.0002983340413 \cdot y^2 - 0.1679052297 \cdot x + 0.01158321590 \cdot y = 1$
- 2) $(x + 1.4 \cdot k) / (-3.6 \cdot k + 1.4 \cdot k) = (y - 8.9 \cdot k) / (8.4 \cdot k - 8.9 \cdot k)$
- 3) $-0.001500275084 \cdot x^2 - 0.001372383870 \cdot x \cdot y - 0.0006862793196 \cdot y^2 - 0.03276603732 \cdot x + 0.02488214948 \cdot y = 1$
- 4) $(x + 4.9 \cdot k) / (-6.3 \cdot k + 4.9 \cdot k) = (y - 5.2 \cdot k) / (1.3 \cdot k - 5.2 \cdot k)$
- 5) $-0.003853288978 \cdot x^2 - 0.06870366344 \cdot x \cdot y - 0.1255116961 \cdot y^2 - 0.1334695274 \cdot x - 1.339602252 \cdot y = 1$
- 6) $0.001854487448 \cdot x^2 - 0.02366697560 \cdot x \cdot y + 0.2055541420 \cdot y^2 - 0.07090796278 \cdot x + 0.9407838358 \cdot y = 1$
- 7) $(x + 6.4 \cdot k) / (-4.9 \cdot k + 6.4 \cdot k) = (y + 0.7 \cdot k) / (-8.7 \cdot k + 0.7 \cdot k)$
- 8) $2.084344171 \cdot 10^{(-6)} \cdot x^2 + 0.0001206137909 \cdot x \cdot y - 0.0005426230741 \cdot y^2 + 0.005437411384 \cdot x - 0.04663733030 \cdot y = 1$
- 9) $x=0$.

Графическая интерпретация и математическое описание контуров деталей МКЗ_3



Математическое описание:

1. Спинка.

$k := 5.524691358$

1) $-0.0005288149292 \cdot x^2 - 0.004201140416 \cdot x \cdot y + 0.0002937859994 \cdot y^2 + 0.1592887979 \cdot x + 0.01558154521 \cdot y = 1$

2) $(x - 1.4 \cdot k) / (4.1 \cdot k - 1.4 \cdot k) = (y - 7.4 \cdot k) / (6.5 \cdot k - 7.4 \cdot k)$

3) $-0.001118146992 \cdot x^2 - 0.0002006087282 \cdot x \cdot y - 0.0002367840692 \cdot y^2 + 0.06304599142 \cdot x + 0.01710236081 \cdot y = 1$

4) $x = 5 \cdot k$

5) $-0.001556012364 \cdot x^2 - 0.00001044394652 \cdot x \cdot y + 3.966052974 \cdot 10^{(-7)} \cdot y^2 + 0.07929569910 \cdot x + 0.0004819737086 \cdot y = 1$

6) $y = -9.4 \cdot k$,

7) $(x - 2.6 \cdot k) / (2.4 \cdot k - 2.6 \cdot k) = (y + 9.4 \cdot k) / (-5.5 \cdot k + 9.4 \cdot k)$

8) $(x - 2.4 \cdot k) / (2.1 \cdot k - 2.4 \cdot k) = (y + 5.5 \cdot k) / (-9.4 \cdot k + 5.5 \cdot k)$

9) $y = -9.4 \cdot k$

10) $x = 0$.

2. Перед.

$k := 5.094117647$

1) $0.00004968352735 \cdot x^2 + 0.007042650616 \cdot x \cdot y + 0.0008197794770 \cdot y^2 - 0.2102326268 \cdot x + 0.005770543342 \cdot y = 1$

2) $(x + 1.4 \cdot k) / (-4 \cdot k + 1.4 \cdot k) = (y - 7.5 \cdot k) / (7 \cdot k - 7.5 \cdot k)$

3) $-0.001254618070 \cdot x^2 - 0.003533840834 \cdot x \cdot y - 0.001438628703 \cdot y^2 - 0.03312757568 \cdot x + 0.003014503258 \cdot y = 1$

4) $x = -5.3$

5) $-0.001308470376 \cdot x^2 - 0.00008892326422 \cdot x \cdot y - 2.694053197 \cdot 10^{(-6)} \cdot y^2 - 0.07230366608 \cdot x - 0.002538061760 \cdot y = 1$

6) $y = y = -9.5 \cdot k$

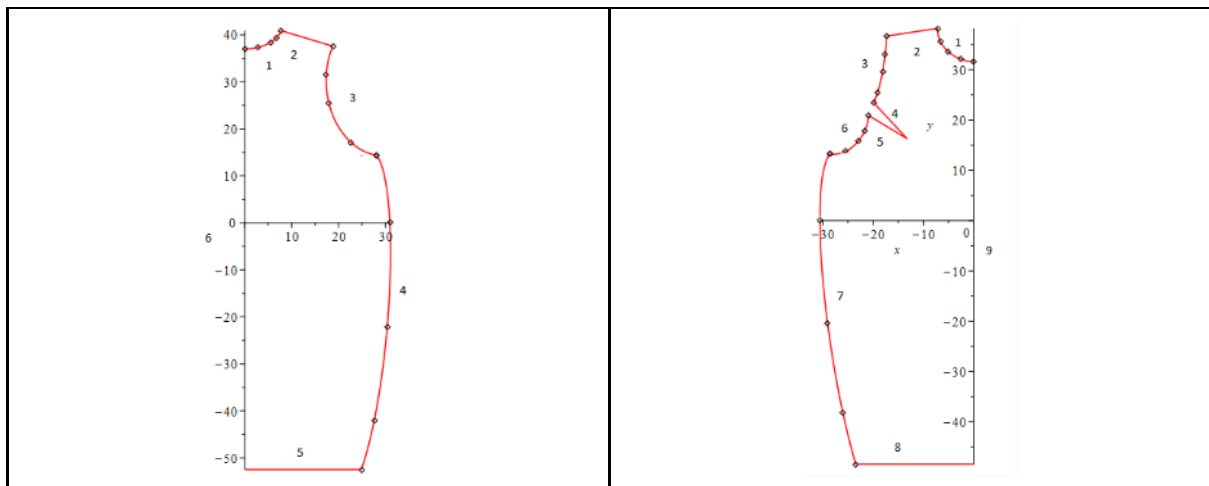
7) $(x + 2.2 \cdot k) / (-2 \cdot k + 2.2 \cdot k) = (y + 9.5 \cdot k) / (-5.5 \cdot k + 9.5 \cdot k)$

8) $(x + 2 \cdot k) / (-1.8 \cdot k + 2 \cdot k) = (y + 5.5 \cdot k) / (-9.5 \cdot k + 5.5 \cdot k)$

9) $y = -9.5 \cdot k$

10) $x = 0$.

Графическая интерпретация и математическое описание контуров деталей МКЗ_4



Математическое описание:

1. Спинка.

$k := 5.524691358$

1) $-0.0002292188990 \cdot x^2 + 0.0001528124383 \cdot x \cdot y - 0.0006112503780 \cdot y^2 - 0.005487570174 \cdot x + 0.04964145606 \cdot y = 1$

2) $(x - 1.4 \cdot k) / (3.4 \cdot k - 1.4 \cdot k) = (y - 7.4 \cdot k) / (6.8 \cdot k - 7.4 \cdot k)$

3) $0.0007880356949 \cdot x^2 - 0.00004070729440 \cdot x \cdot y - 0.0004567660207 \cdot y^2 + 0.04716591316 \cdot x + 0.02836110838 \cdot y = 1$

4) $-0.001625975154 \cdot x^2 + 0.0002724594672 \cdot x \cdot y - 0.00006635256276 \cdot y^2 + 0.08262728712 \cdot x - 0.009318105928 \cdot y = 1$

5) $y = -9.5 \cdot k$

6) $x = 0$.

2. Перед.

$k := 5.094117647$

1) $-0.0005259875479 \cdot x^2 - 0.00009350942418 \cdot x \cdot y - 0.0007305382325 \cdot y^2 + 0.003304661532 \cdot x + 0.05473504832 \cdot y = 1$

2) $(x + 1.4 \cdot k) / (-3.4 \cdot k + 1.4 \cdot k) = (y - 7.5 \cdot k) / (7.2 \cdot k - 7.5 \cdot k)$

3) $-0.001030888186 \cdot x^2 - 0.0007486218788 \cdot x \cdot y - 0.0002884034166 \cdot y^2 - 0.04956383522 \cdot x + 0.009902765786 \cdot y = 1$

4) $(x + 3.9 \cdot k) / (-2.6 \cdot k + 3.9 \cdot k) = (y - 4.6 \cdot k) / (3.2 \cdot k - 4.6 \cdot k)$

5) $(x + 2.6 \cdot k) / (-4.1 \cdot k + 2.6 \cdot k) = (y - 3.2 \cdot k) / (4.1 \cdot k - 3.2 \cdot k)$

6) $-0.0008561851511 \cdot x^2 + 0.0003401806986 \cdot x \cdot y - 0.0006306721029 \cdot y^2 - 0.05211028366 \cdot x + 0.03392824776 \cdot y = 1$

7) $-0.001596704927 \cdot x^2 - 0.0004693036524 \cdot x \cdot y - 0.00008204494147 \cdot y^2 - 0.08152029144 \cdot x - 0.01427531799 \cdot y = 1$

8) $y = -9.5 \cdot k$

9) $x = 0$.

**ПРИЛОЖЕНИЕ Д – дополнительная примерка материальных
образцов изделий на манекены**

Дополнительная примерка реальных образцов изделий на манекен «Б»

- примерка изделий трапецевидного силуэта на манекен «Б»:



Рис. 1, а. Фотоизображения материального образца МК1_1 силуэта
«трапеция» малого объема на манекен «Б»



Рис. 1, б. Фотоизображения материального образца МК1_2 силуэта
«трапеция» среднего объема на манекен «Б»



Рис. 1, в. Фотоизображения материального образца МК1_3 силуэта «трапеция» большого объема на манекен «Б»



Рис. 1, г. Фотоизображения материального образца МК1_4 силуэта «трапеция» объема больше среднего на манекен «Б»

- примерка изделий прямого силуэта на манекен «Б»:



Рис. 2, а. Фотоизображения материального образца МК2_1 прямого силуэта малого объема на манекен «Б»



Рис. 2, б. Фотоизображения материального образца МК2_2 прямого силуэта среднего объема на манекен «Б»



Рис. 2, в. Фотоизображения материального образца МК2_3 прямого силуэта объема больше среднего на манекен «Б»



Рис. 2, г. Фотоизображения материального образца МК2_4 прямого силуэта большого объема на манекен «Б»

- примерка изделий овального силуэта на манекен «Б»:



Рис. 3, а. Фотоизображения материального образца МКЗ_1 овального силуэта объема больше среднего на манекен «Б»



Рис. 3, б. Фотоизображения материального образца МКЗ_2 овального силуэта среднего объема на манекен «Б»



Рис. 3, в. Фотоизображения материального образца МКЗ_3 овального силуэта малого объема на манекен «Б»



Рис. 3, г. Фотоизображения материального образца МК3_4 овального силуэта большого объема на манекен «Б»

Дополнительная примерка реальных образцов изделий на манекен «А»

- примерка изделий трапецевидного силуэта на манекен «А»:



Рис. 4, а. Фотоизображения материального образца МК1_1 силуэта «трапеция» малого объема на манекен «А»



Рис. 4, б. Фотоизображения материального образца МК1_2 силуэта «трапеция» среднего объема на манекен «А»



Рис. 4, в. Фотоизображения материального образца МК1_3 силуэта «трапеция» большого объема на манекен «А»



Рис. 4, г. Фотоизображения материального образца МК1_4 силуэта «трапеция» объема больше среднего на манекен «А»

- примерка изделий прямого силуэта на манекен «А»:



Рис. 5, а. Фотоизображения материального образца МК2_1 прямого силуэта малого объема на манекен «А»



Рис. 5, б. Фотоизображения материального образца МК2_2 прямого силуэта среднего объема на манекен «А»



Рис. 5, в. Фотоизображения материального образца МК2_3 прямого силуэта объема больше среднего на манекен «А»



Рис. 5, г. Фотоизображения материального образца МК2_4 прямого силуэта большого объема на манекен «А»

- примерка изделий овального силуэта на манекен «А»:



Рис. 6, а. Фотоизображения материального образца МКЗ_1 овального силуэта объема больше среднего на манекен «А»



Рис. 6, б. Фотоизображения материального образца МКЗ_2 овального силуэта среднего объема на манекен «А»



Рис. 6, в. Фотоизображения материального образца МКЗ_3 овального силуэта малого объема на манекен «А»



Рис. 6, г. Фотоизображения материального образца МКЗ_4 овального силуэта большого объема на манекен «А»

ПРИЛОЖЕНИЕ Е – оценка результата цифрового проектирования внешней формы женских платьев

Пример формы вопроса онлайн-опроса оценки цифрового результата соответствию требованиям ТЗ и характеристикам проектного образа

1. Насколько визуализация 3D модели соответствует проектному замыслу: по форме, степени прилегания к фигуре и т.п.?

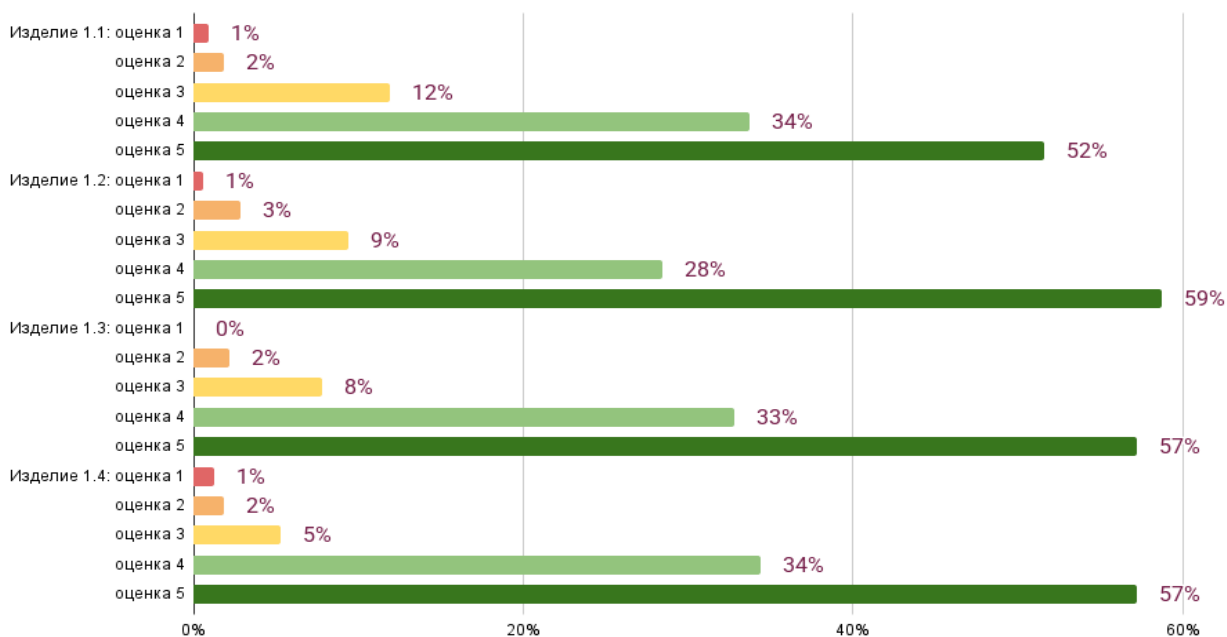


Значение оценки 1 - не соответствует, 5 - полностью соответствует.
Отметьте только один овал в каждом ряду.

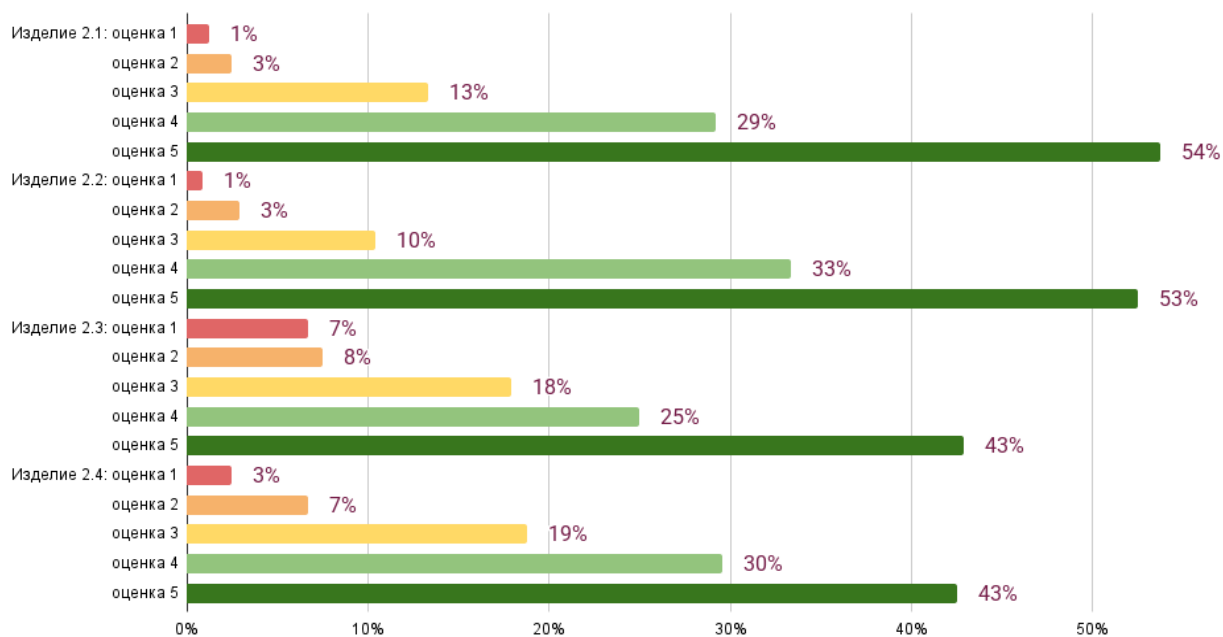
	1	2	3	4	5
Оценка показателя	☐	☐	☐	☐	☐

Результаты онлайн-опроса оценки цифрового результата проектирования

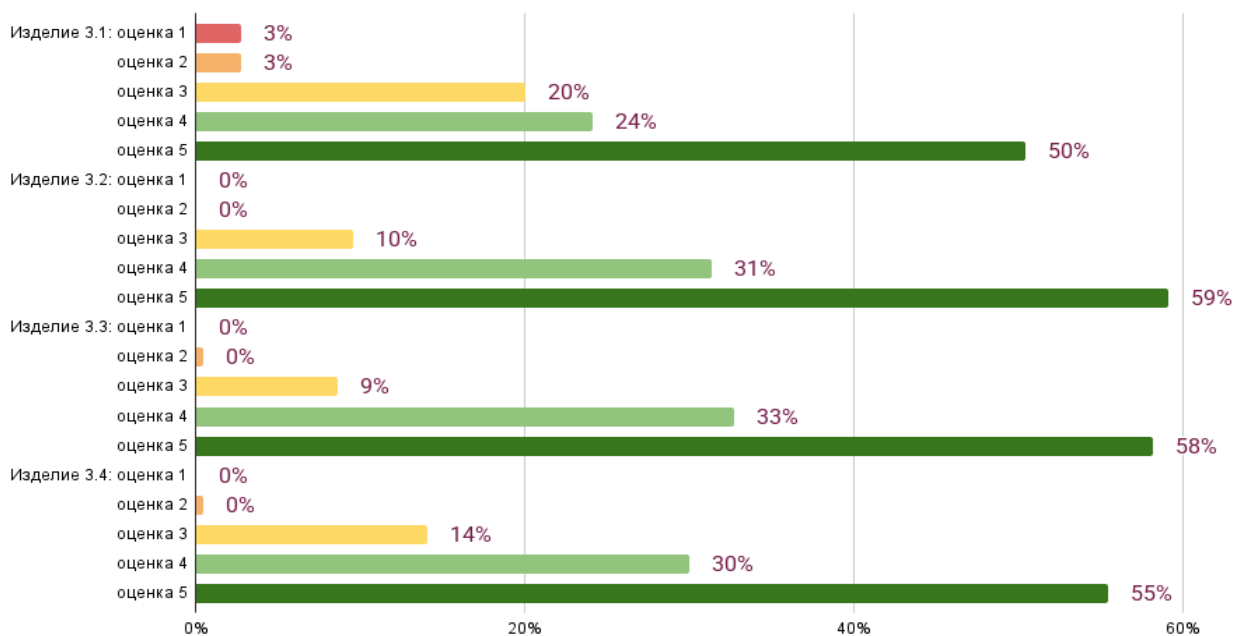
Соответствие цифрового результата техническому заданию. Изделия семейства моделей МК1.



Соответствие цифрового результата техническому заданию. Изделия семейства моделей МК2.



Соответствие цифрового результата техническому заданию. Изделия семейства моделей МК3.



ПРИЛОЖЕНИЕ Ж – оценка визуальной идентичности внешней формы цифровых моделей и материальных моделей женских платьев

Пример формы вопроса онлайн-опроса оценки визуальной идентичности внешней формы цифровых и реальных моделей

37. Наблюдается ли наличие зон деформации материала в деталях 3D модели? *



На изображении показано применение инструмента "Strain Map" (Карта деформации материала) программы Clo3D к деталям изделия. Значения деформации интерпретируются цветовой шкалой: незначительная деформация - голубой цвет; значительная деформация - красный цвет.

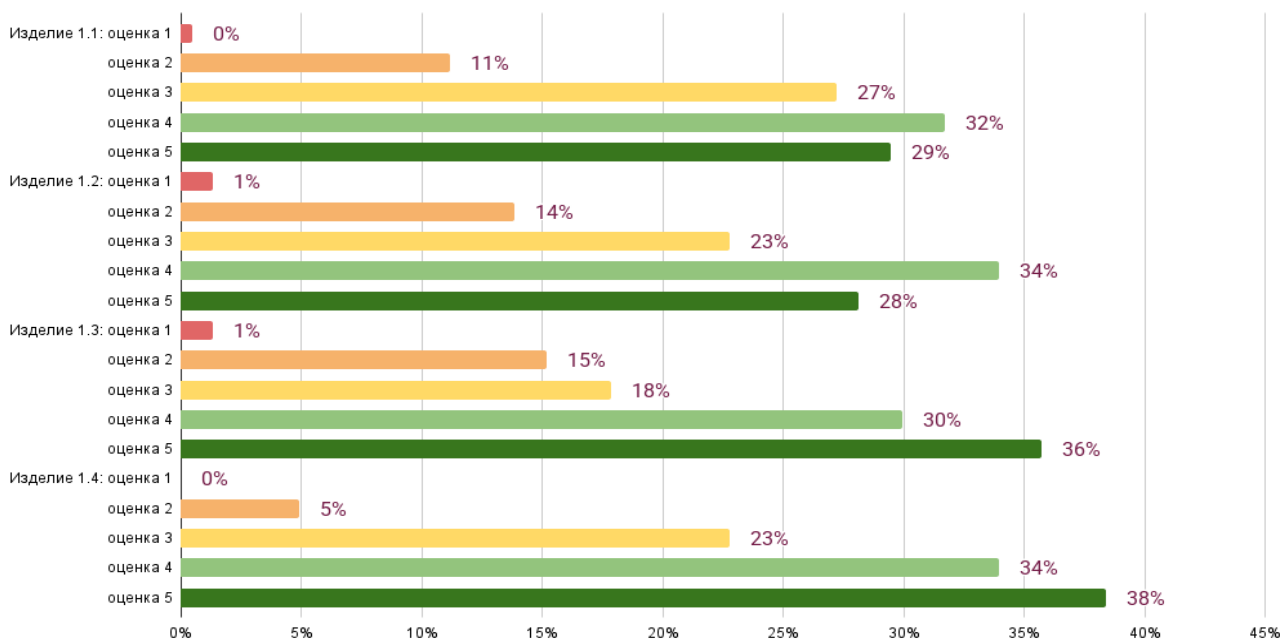
Значение оценки 1 - наличие зон с сильной степенью деформации, 5 - отсутствие деформации или наличие зон с допустимой деформацией.

Отметьте только один овал в каждом ряду.

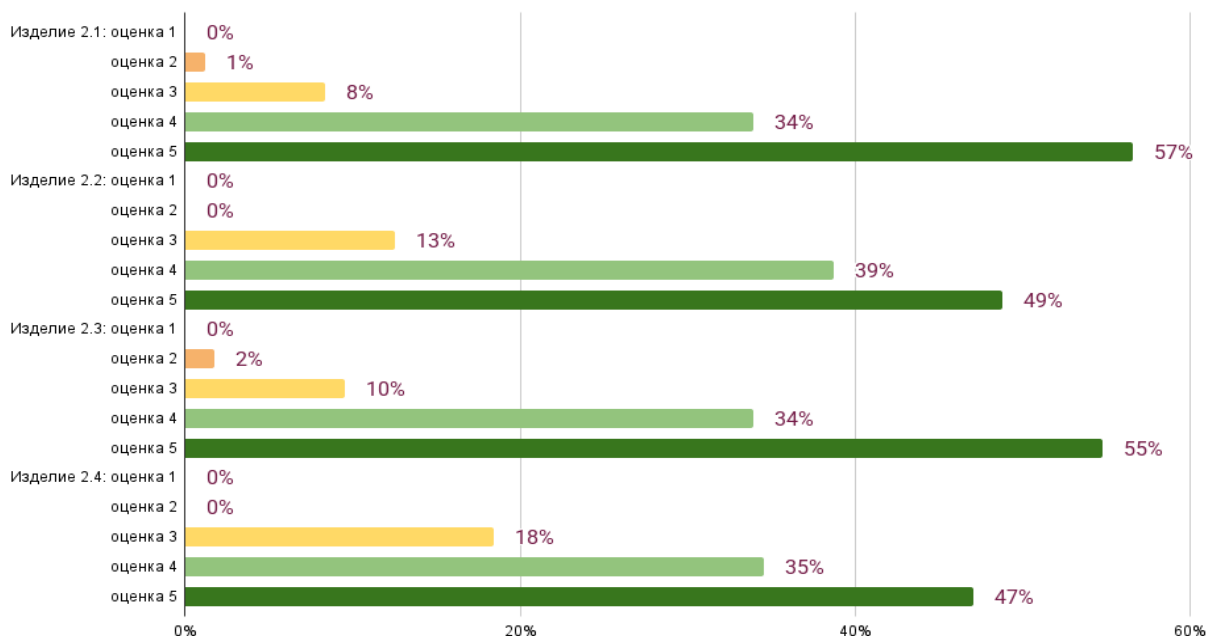
	1	2	3	4	5
Оценка показателя	☐	☐	☐	☐	☐

Результаты онлайн-опроса оценки визуальной идентичности внешней формы цифровых и реальных моделей

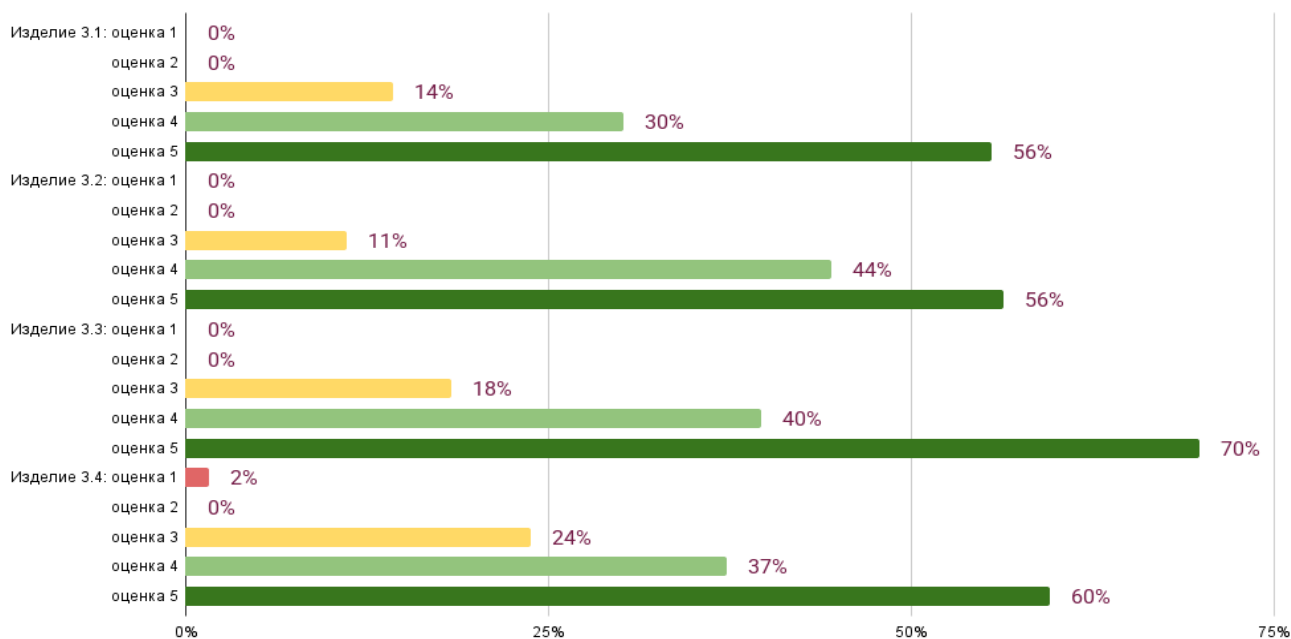
Визуальная идентичность цифровой модели и реального образца. Изделия семейства моделей МК1.



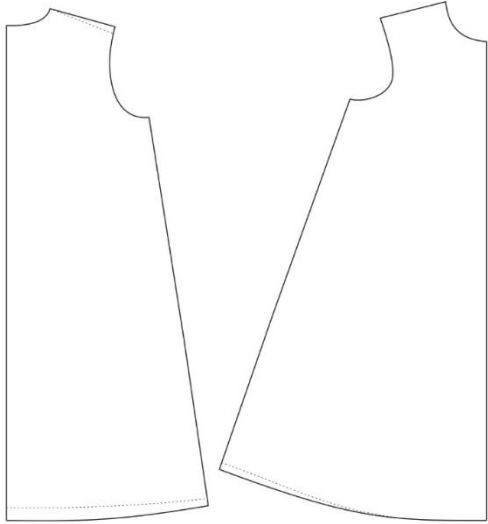
Визуальная идентичность цифровой модели и реального образца. Изделия семейства моделей МК2.

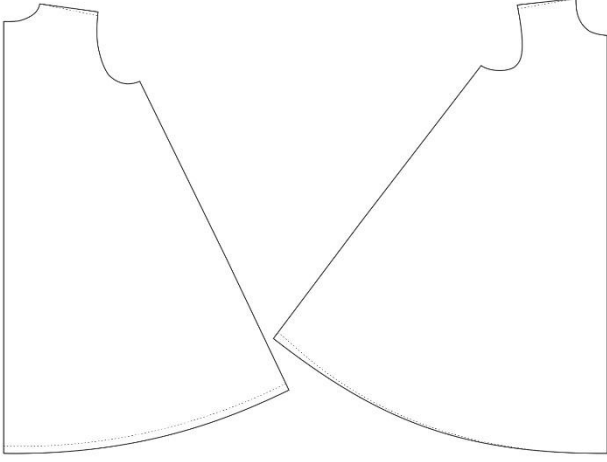


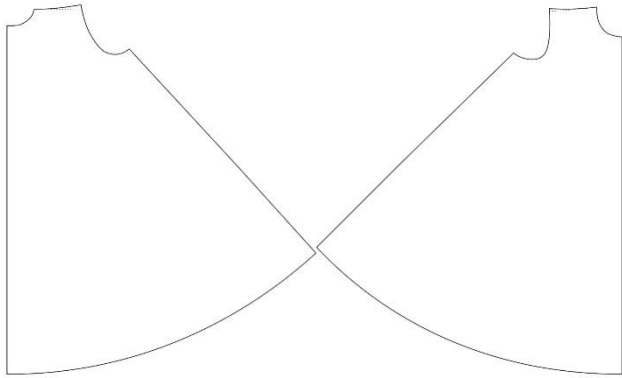
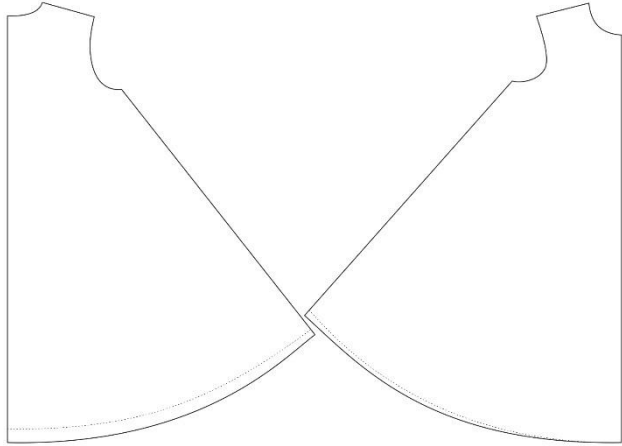
Визуальная идентичность цифровой модели и реального образца. Изделия семейства моделей МК3.

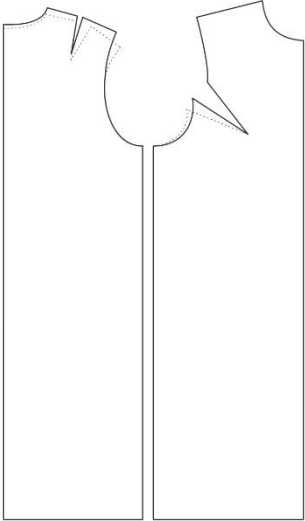


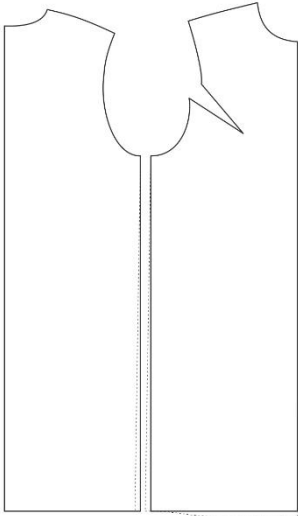
**ПРИЛОЖЕНИЕ И – рекомендации по устранению дефектов конструктивных параметров
плоских разверток деталей женских платьев**

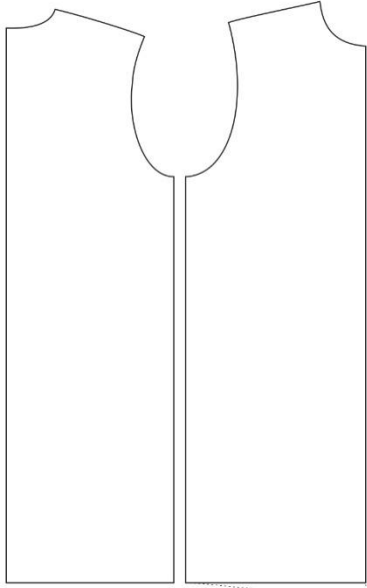
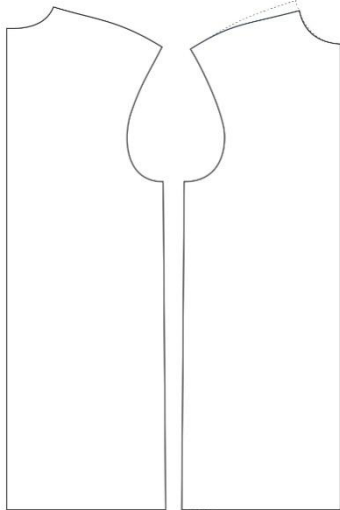
Изделие	Дефект посадки	Вид нарушения	Способ устранения дефекта	Изображение чертежа
МК1_1	1.Отставание изделия от поверхности плеча в конечной точке плечевого среза. 2.Отсутствие горизонтальности линии низа.	Нарушен баланс изделия – завышена конечная точка плеча спинки, излишняя длина спинки по линии середины и боковым срезам.	1.Переместить вниз конечную точку плечевого среза спинки на 1,3 см. Провести новую линию плеча. 2.Скорректировать линию низа: переместить вверх нижнюю точку средней линии спинки на 2,3 см; переместить вверх нижние точки бокового среза спинки и переда на 1,3 см; провести новые линии низа спинки и переда.	

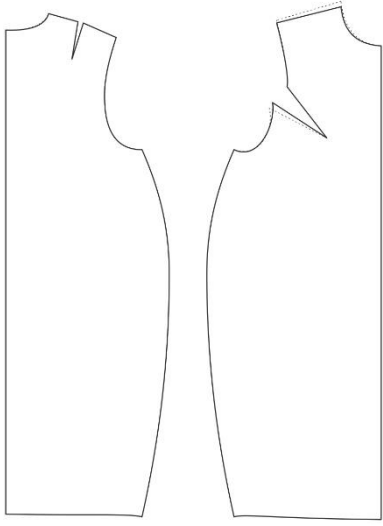
МК1_2	1.Отставание изделия от поверхности плеча в конечной точке плечевого среза.	Нарушен баланс изделия – завышена конечная точка плеча спинки и переда, излишняя длина спинки по линии середины и боковым срезам.	1.Переместить вниз конечную точку плечевого среза спинки и переда на 0,8 см. Провести новые линии плеч спинки и переда. 2.Скорректировать линию низа: переместить вверх нижнюю точку средней линии спинки на 1,5 см; переместить вверх нижние точки боковых срезов спинки и переда на 1,5 см; провести новые линии низа спинки и переда.	
-------	---	---	---	---

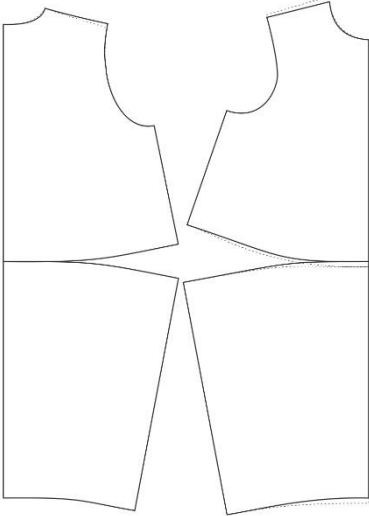
МК1_3	1.Отставание изделия от поверхности плеча в конечной точке плечевого среза.	Нарушен баланс изделия – завышена конечная точка плеча спинки и переда	1.Переместить вниз конечную точку плечевого среза спинки на 1,3 см, переда – на 0,7 см. Провести новые линии плеч спинки и переда.	
МК1_4	1.Провисание линии низа спинки.	Нарушен баланс изделия – излишняя длина спинки по линии середины и боковым срезам.	1.Скорректировать линию низа: переместить вверх нижнюю точку средней линии спинки на 3 см; переместить вверх нижние точки боковых срезов спинки и переда на 1,5 см; провести новые линии низа спинки и переда.	

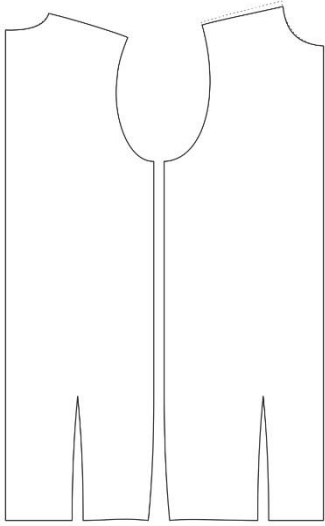
МК2_1	1. Угловые заломы от бокового шва к центру нагрудной вытачки. 2. Отклонение бокового шва в сторону переда по линии низа.	1. Недостаток величины раствора нагрудной вытачки. 2. Излишняя длина спины до талии и недостаток величины раствора плечевой вытачки на выступ лопаток.	1. Увеличить раствор нагрудной вытачки на 2 см. Уравнять длины нагрудной вытачки. Скорректировать линию проймы переда. 2. Увеличить раствор плечевой вытачки на 1,8 см и удлинить ее на 1 см. Переместить вниз конечную точку плечевого среза спинки на 0,5 см, точку вершины горловины спинки – на 1,2 см. Углубить горловину спинки на 0,7 см. Провести новые линии проймы, плеча и горловины спинки.	
-------	--	--	---	---

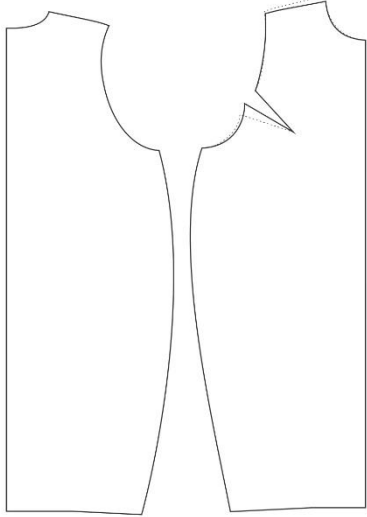
МК2_2	1.Недостаток длины по линии середины переда. 2.Отклонение бокового шва в сторону переда по линии низа.	Нарушен баланс изделия – недостаточная длина по линии середины переда. Нижняя точка бокового среза спинки смещена вперед.	1.Удлинить перед по средней линии на 1,5 см. 2.Расширить перед в нижней точке бокового среза на 1 см. Уточнить линию низа переда. Заузить спинку в нижней точке бокового среза на 1 см. Провести новые линии боковых срезов переда и спинки.	
-------	--	--	--	---

МК2_3	1.Недостаток длины по линии середины переда.	Нарушен баланс изделия – недостаточная длина по линии середины переда.	1.Удлинить перед по средней линии на 1,5 см. Уточнить линию низа переда.	
МК2_4	1.Отклонение переда от вертикального положения в сторону средней линии и недостаток длины по линии середины переда.	Нарушен баланс изделия – занижена вершина горловины переда и недостаточная длина по линии середины переда.	1.Поднять вершину горловины переда на 2 см, уточнить направление плечевого среза и линий горловины переда и спинки. Удлинить перед по средней линии на 1,5 см. Уточнить линию низа переда.	

МКЗ_1	1. Угловые заломы от бокового шва к центру нагрудной вытачки.	Недостаток величины раствора нагрудной вытачки и длины переда до линии талии.	1. Увеличить раствор нагрудной вытачки на 1 см. Уравнять длины нагрудной вытачки. Скорректировать линию проймы переда. Поднять вершину горловины переда на 1 см, конечную точку плечевого среза переда – на 0,5 см. Уточнить направление плечевого среза и линий горловины переда и спинки.	
-------	---	---	---	---

МКЗ_2	1.Отставание изделия от поверхности плеча в конечной точке плечевого среза. 2.Незначительное отклонение переда от вертикального положения в сторону средней линии и недостаток длины по линии середины переда. 3.Нарушено горизонтальное положение линии членения переда в области линии талии.	Нарушен баланс изделия – завышена конечная точка плеча спинки, недостаток длины переда.	1.Переместить вниз конечную точку плечевого среза спинки на 0,7 см. Провести новую линию плеча. 2.Поднять вершину горловины переда на 1 см, конечную точку плечевого среза переда – на 0,5 см. Уточнить направление плечевого среза и линий горловины переда и спинки. Сместить вниз на 1 см линию низа верхней части переда по линии середины, уточнить линию нижнего среза. Соответственно откорректировать	
-------	--	--	---	---

			на 1 см линии верхнего и нижнего срезов нижней части переда.	
МКЗ_3	1.Отклонение переда от вертикального положения в сторону средней линии и недостаток длины по линии середины переда.	Нарушен баланс изделия – занижена вершина горловины переда и недостаточная длина по линии середины переда.	1.Поднять вершину горловины переда на 1 см, конечную точку плечевого среза переда – на 0,5 см. Уточнить направление плечевого среза и линий горловины переда и спинки.	

МКЗ_4	1. Угловые заломы от бокового шва к центру нагрудной вытачки.	Нарушен баланс изделия – занижены вершина и окончание плечевого среза переда. Недостаток величины раствора нагрудной вытачки.	1. Поднять вершину горловины переда на 1 см, конечную точку плечевого среза переда – на 0,5 см. Уточнить направление плечевого среза и линии горловины переда. Увеличить раствор нагрудной вытачки на 2 см. Уравнять длины нагрудной вытачки. Скорректировать линию проймы переда.	
-------	---	---	--	---

ПРИЛОЖЕНИЕ К – изображения примерки материальных образцов и цифровых 3D моделей после корректировки исходных модельных конструкций



а)



б)

*Рис. 1. МК1_1 малого объема:
а) материальный образец, б) цифровая 3D модель*



а)



б)

*Рис. 2. МК1_2 среднего объема:
а) материальный образец, б) цифровая 3D модель*



а)



б)

*Рис. 3. МК1_3 большого объема:
а) материальный образец, б) цифровая 3D модель*



а)



б)

Рис. 4. МК1_4 объема больше среднего:
а) материальный образец, б) цифровая 3D модель



а)



б)

*Рис. 5. МК2_1 малого объема:
а) материальный образец, б) цифровая 3D модель*



а)



б)

*Рис. 6. МК2_2 среднего объема:
а) материальный образец, б) цифровая 3D модель*



а)



б)

*Рис. 7. МК2_3 объема больше среднего:
а) материальный образец, б) цифровая 3D модель*



а)



б)

*Рис. 8. МК2_4 большого объема:
а) материальный образец, б) цифровая 3D модель*



а)



б)

*Рис. 9. МК3_1 объема больше среднего:
а) материальный образец, б) цифровая 3D модель*



а)



б)

*Рис. 10. МКЗ_2 среднего объема:
а) материальный образец, б) цифровая 3D модель*



а)



б)

*Рис. 11. МКЗ_3 малого объема:
а) материальный образец, б) цифровая 3D модель*



а)



б)

Рис. 12. МКЗ_4 большого объема:
а) материальный образец, б) цифровая 3D модель

ПРИЛОЖЕНИЕ Л – изображения наложения цифровых трехмерных моделей и сканов материальных образцов в программе трехмерного проектирования Blender

Наложение цифровых 3D моделей плечевой одежды и материальных образцов трапецевидного силуэта разных объемных форм

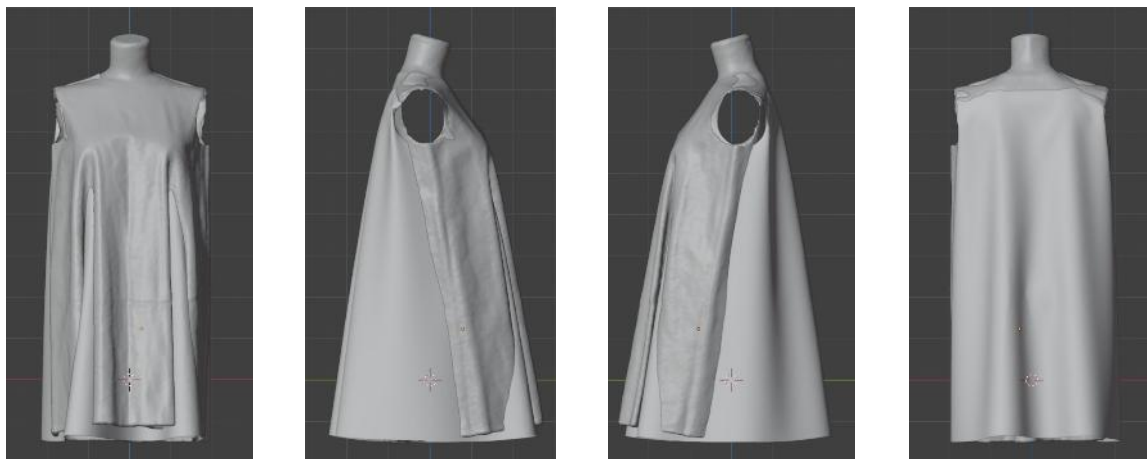


Рис. 1. MK1_1 малого объема

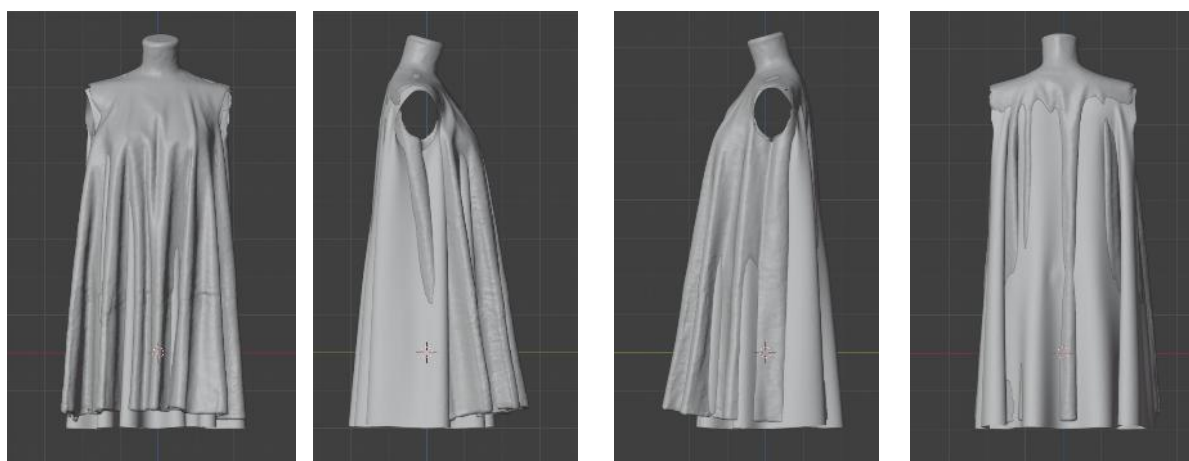


Рис. 2. MK1_2 среднего объема



Рис. 3. MK1_3 большого объема



Рис. 4. МК1_4 объема больше среднего

Наложение цифровых 3D моделей плечевой одежды и материальных образцов прямого силуэта разных объемных форм

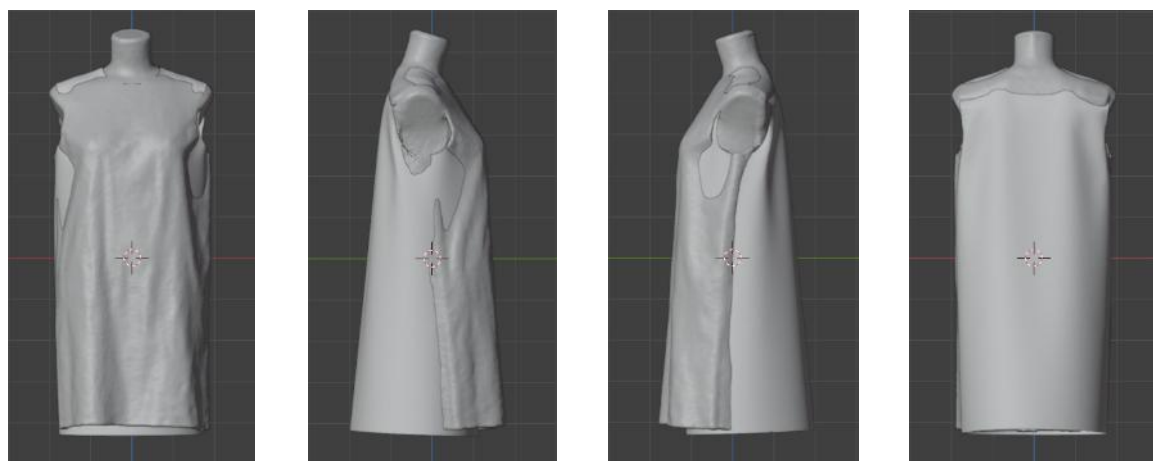


Рис. 5. МК2_1 малого объема

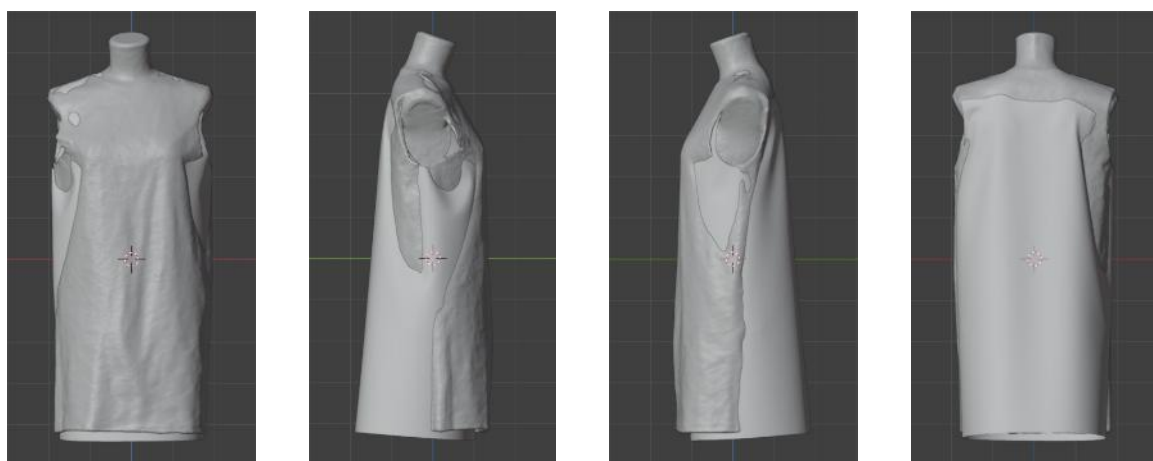


Рис. 6. МК2_2 среднего объема

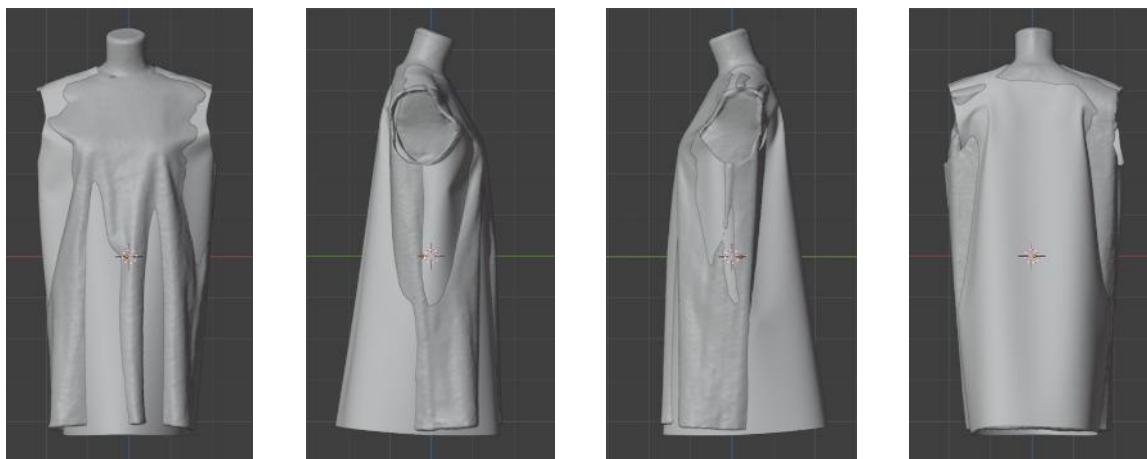


Рис. 7. МК2_3 объема больше среднего

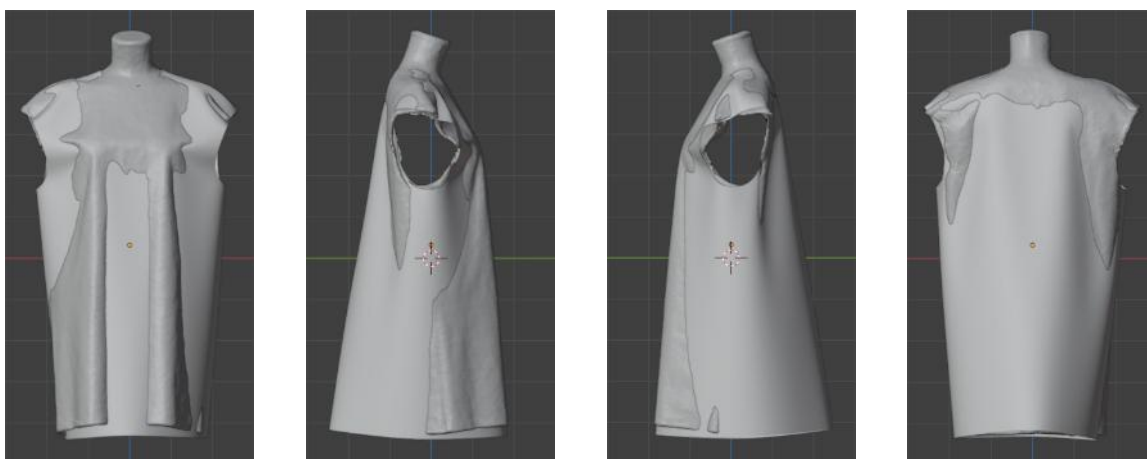


Рис. 8. МК2_4 большого объема

Наложение цифровых 3D моделей плечевой одежды и материальных образцов овального силуэта разных объемных форм



Рис. 9. МК3_1 объема больше среднего

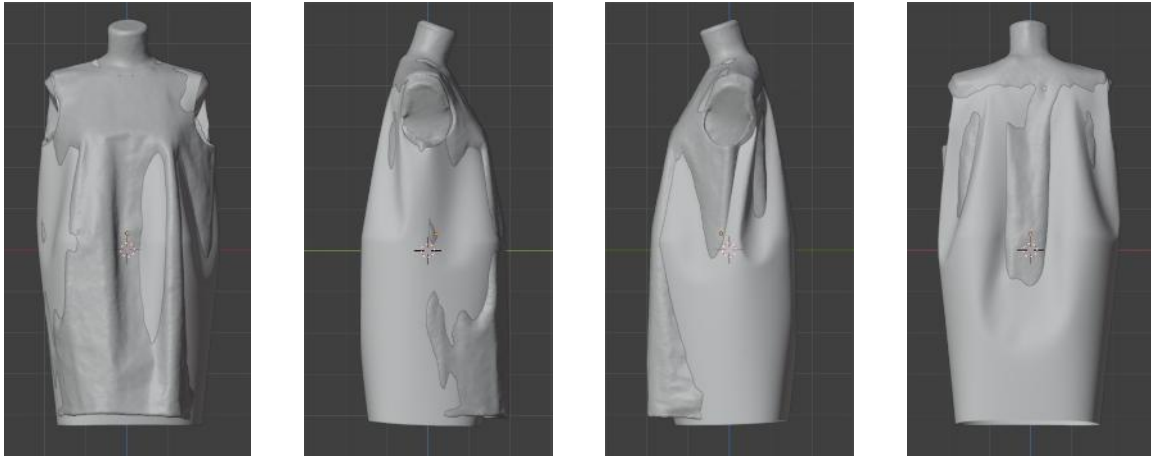


Рис. 10. МК3_2 среднего объема



Рис. 11. МК3_3 малого объема



Рис. 12. МК3_4 большого объема

ПРИЛОЖЕНИЕ М – результаты сравнения внешней формы материального образца и цифровых моделей поясного изделия «юбка-солнце», созданных в программах Clo3D и Style3D

Для сравнения цифровой 3D модели с реальным образцом использован метод фотограмметрии. Фотоизображения визуализации цифровой примерки, выполненной в 3D программе, во фронтальной и сагиттальной плоскостях полученные с помощью функции фото экрана и фотоизображения материального образца во фронтальной и сагиттальной плоскостях полученные с помощью цифровой фотокамеры iPhone 15 Pro анализируются методом экспертных оценок на предмет визуальной идентичности характеристик внешней формы объектов исследования. С помощью «Google Формы» был разработан и проведен онлайн-опрос среди «экспертов-конструкторов» (n=12) и «студентов-конструкторов» (m=24). В качестве «экспертов-конструкторов» в опросе приняли участие а) конструкторы и дизайнеры одежды, работающие на фрилансе и производстве; б) преподаватели вузов, реализующие дисциплины по конструированию изделий швейной промышленности и художественного формообразования одежды; в) руководители компаний по производству и реализации женской одежды. Респондентов из категории «студенты-конструкторы» составили обучающиеся профильных вузов и программ дополнительного образования, прошедших обучение по дисциплинам конструирования изделий швейной промышленности, художественного формообразования одежды, проектирование швейных изделий в 2D и 3D САПР. Набор вопросов 1 включал вопросы о критериях соответствия внешней формы и формообразования ее поверхности, набор вопросов 2 включал вопросы о критериях соответствия визуализации воспроизведения и передачи свойств материала, а набор вопросов 3 содержал вопросы на выявление общего впечатления и выявления эффективности двух программ в идентичности визуализации внешней формы. Чтобы избежать неправильных ответов, которые могли возникнуть в результате процесса ответов, вопросы отображались случайным образом, а каждый участник оценивал только два образа (реальный и цифровой). Это означает, что респондент никогда не сравнивал два цифровых результата между собой (результат программы Clo3D с результатом программы Style3D).

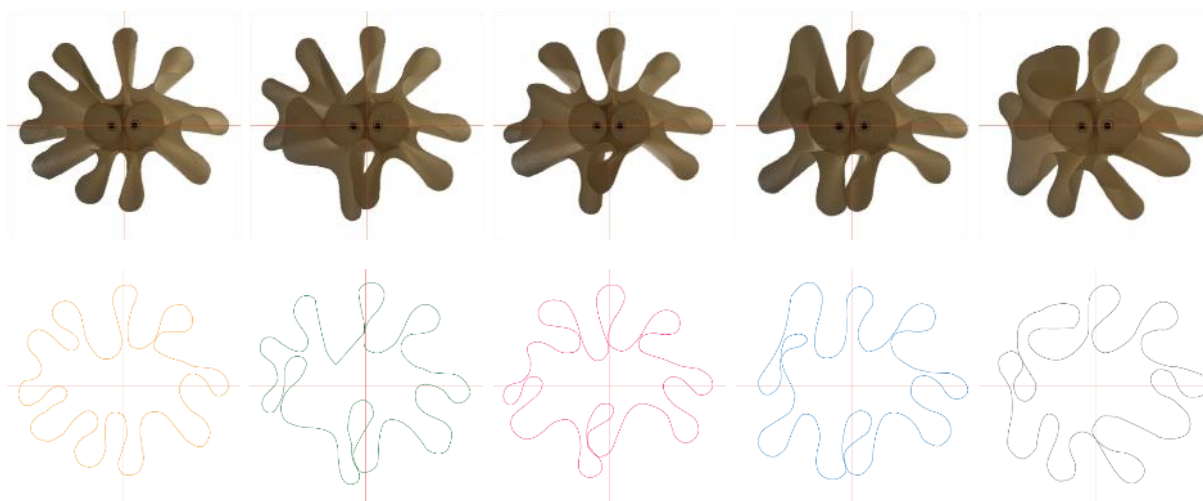
Сравнение внешней формы реальных и цифровых моделей также было осуществлено посредством графического анализа контуров линии низа. Для этого в программе Adobe Illustrator созданы абрисы в виде волнообразных замкнутых кривых по границам линии низа фотоизображений моделей (реальной и цифровых) и произведено их наложение с выравниванием по центру, а также создан средний контур модели (реальной и цифровых) по крайним выпуклым точкам абрисов серии примерок на плоскости по осям X и Y. Так как система «человек-

одежда» является подвижной, то одна и та же модель одежды может принимать на теле человека разные нюансные варианты формы. Особенно это проявляется в изделиях объемных форм с волнообразной и складчатой линией низа. В следствии этого при проведении исследования выполнена серия примерок (цифровых и реальных) для проверки предположения о том, что несмотря на возможность изменения формы формообразующих участков поверхности модели, зрительное восприятие границы внешней формы от примерки к примерке будет неизменным, а воспроизводимые внешние формы модели – подобны.

При сравнении визуальной идентичности внешней формы одежды цифровой 3D модели и материального образца большую роль играет визуальная идентичность воспроизведения фактуры и физико-механических свойств материала. Сравнение фактуры и физико-механических свойств материала осуществлялось посредством проведения экспертной оценки и замеров конструктивных участков 2D разверток деталей и аналогичных участков 3D цифровых моделей и материального образца.

Чтобы исследовать, как и с какой точностью соответствия современные технологии 3D-моделирования воспроизводят особенности дизайна и поверхность внешней формы были проанализированы результаты онлайн-опроса. Анализ результатов обработки ответов респондентов установил, что лучшие результаты соответствия внешней формы цифровой 3D модели материальному образцу по всем показателям показала модель, созданная в программе Style3D. Цифровая 3D модель программы Clo3D по показателям соответствия «массы» и «характера формообразования» получила более низкие оценки, чем программы Style3D. Высокую эффективность в воспроизведении и передачи физико-механических свойств материала при 3D-моделировании изделия показала программа Style3D, на что указывают полученные оценки, по всем показателям превышающие полученные оценки программы Clo3D в 1,5-2 раза. Оценки общего впечатления соответствия материальному образцу и возможности использования только цифровой 3D модели на этапе прототипирования также свидетельствуют о преимуществах инструментария программы Style3D перед программой Clo3D.

Графические образы контуров линии низа, полученные в результате серии примерок, в виде фотоизображений и абрисов представлены на рис. 1-3: материального образца (рис. 1), цифровой 3D модели, созданной в Clo3D (рис. 2), цифровой 3D модели, созданной в Style3D (рис. 3). Наложение абрисов линии низа по каждой модели в отдельности представлено на рис. 4: материального образца (рис. 4, а), цифровой 3D модели, созданной в Clo3D (рис. 4, б), цифровой 3D модели, созданной в Style3D (рис. 4, в).



примерка 1

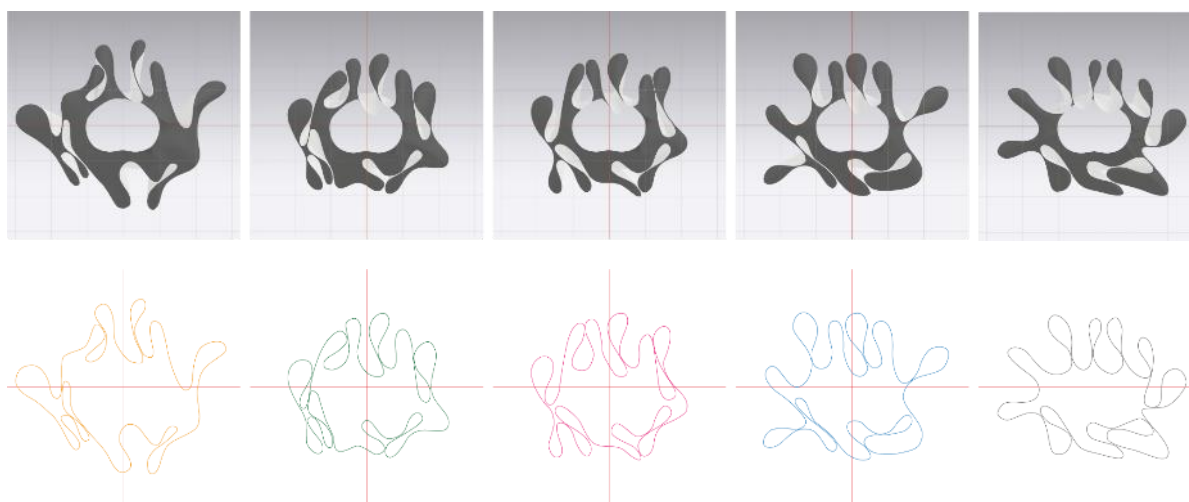
примерка 2

примерка 3

примерка 4

примерка 5

Рис. 1. Фотоизображения и абрисы контуров линии низа серии примерок материального образца



примерка 1

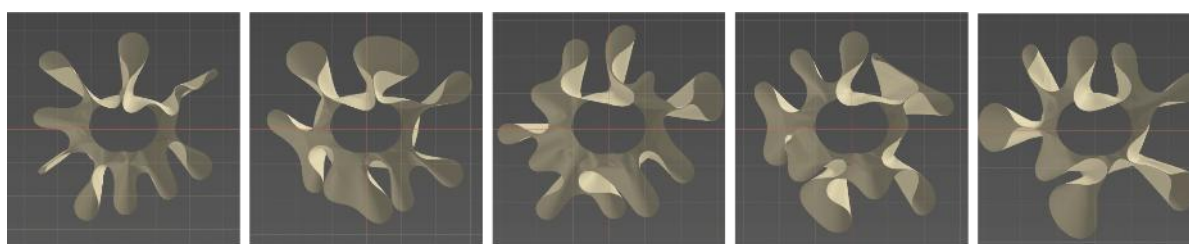
примерка 2

примерка 3

примерка 4

примерка 5

Рис. 2. Фотоизображения и абрисы контуров линии низа серии примерок цифровой 3D модели, Clo3D



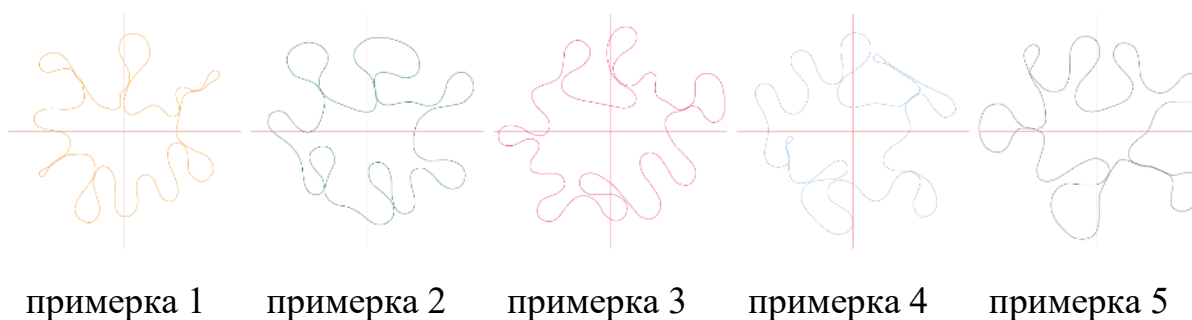


Рис. 3. Фотоизображения и абрисы контуров линии низа серии примерок цифровой 3D модели, Style3D

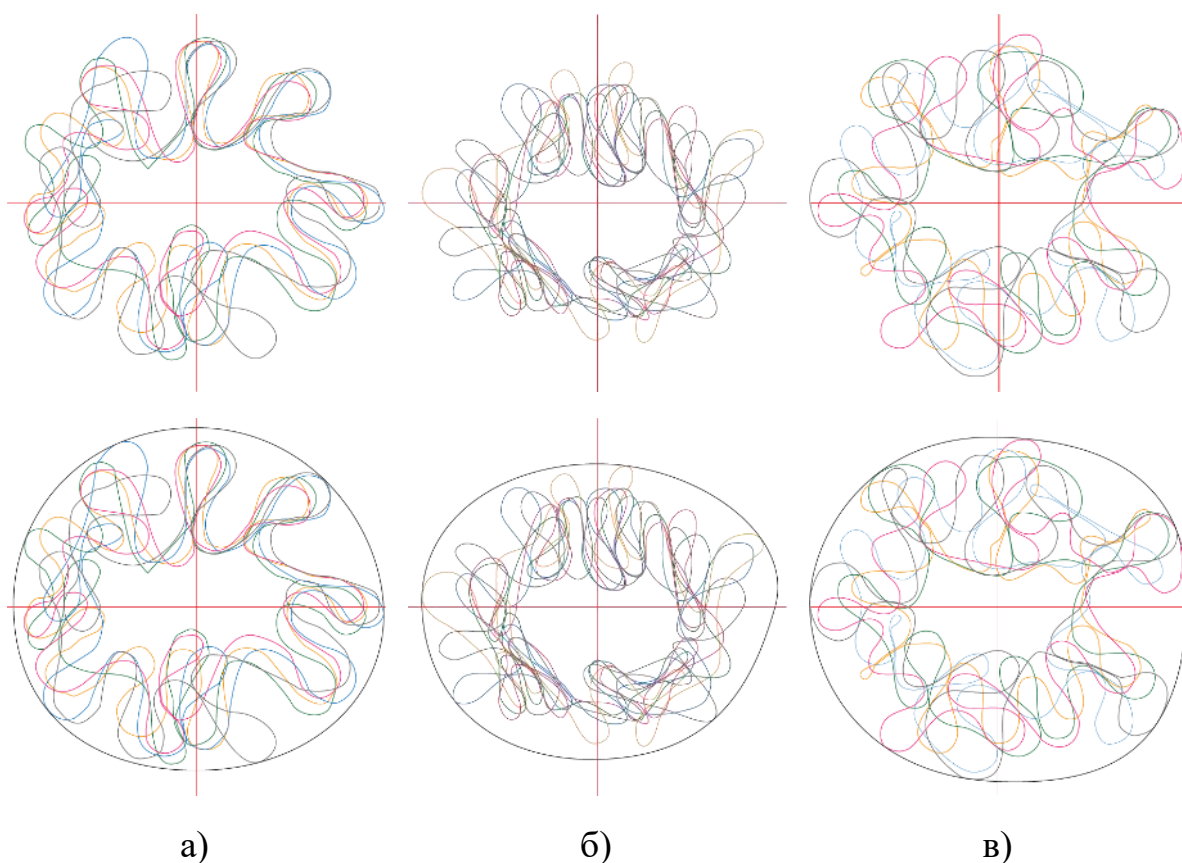


Рис. 4. Наложение абрисов контуров линии низа серии примерок материального образца, цифровой 3D модели Clo3D, цифровой 3D модели Style3D

Геометрия формы линии низа модели в объеме позволяет оценить соответствии полученной формы задуманной (заданной к проектированию). Поэтому результаты графического анализа контуров линии низа реальной и цифровых моделей использованы для оценки геометрии формообразования как контуров фалд в отдельности, так и формы линии низа в целом. Фотоизображения и абрисы контуров линии низа на рис. 1-4 свидетельствуют о различной геометрии формообразования фалд во всех трех моделях. Так, у материального образца в результате серии

примерок фалды можно охарактеризовать как имеющие умеренный объем, равномерно выпукло-вогнутые по длине волны и равноудалены друг от друга, тогда как фалды цифровой модели программы Clo3D имеют уплощенную форму и направлены в сторону друг друга, а фалды цифровой модели Style3D, наоборот, имеют больший объем в области наибольшей выпуклости фалды и у большего количества фалд в местах максимальной вогнутости стороны полуволн соприкасаются. Однако, несмотря на разный характер геометрии формы фалд каждой из моделей, визуальный анализ крайних точек на участках максимальной выпуклости по осям X и Y при наложении абрисов контуров линии низа (рис. 4) позволяет выявить схожесть общей формы линии низа материального образца и цифровой модели Style3D (контур в форме окружности приближенно равного объема) и отличие формы линии низа модели, созданной в программе Clo3D (контур в форме эллипса, вытянутого по горизонтали). Геометрия формы линии низа модели оказывает существенное влияние на восприятие ее геометрического вида внешней формы в целом во фронтальных и сагиттальных плоскостях. Поэтому в части воспроизведения и визуальной передачи геометрического вида внешней формы материального образца программа Style3D показала лучшие результаты в сравнении с программой Clo3D.

Дополнительно геометрия формообразования фалд была экспериментально проверена за счет уменьшения длины изделия (было 60 см, стало 40 см). Уменьшение длины изделия привело к снижению общего веса материала изделия, что обеспечило сокращение действующей силы тяжести, следовательно, и площади соприкосновения изделия с опорной поверхностью, а также способствовало облегчению и приданию «воздушности» изделию. Однако значительных изменений характера образования формы фалд выявлено не было ни в одной модели. Характер образования формы фалд и площади соприкосновения моделей с опорной поверхностью остался неизменным: модель программы Clo3D сохранила большее прилегание к субъекту проектирования и уплощенность формы фалд, что в значительной степени отличало ее от материального образца и модели, полученной в программе Style3D.

При оценке физико-механических свойств материала цифровой среды с реальным материалом произведены замеры конструктивных участков 2D разверток деталей и аналогичных участков 3D цифровых моделей и материального образца, результаты которых представлены в таблице 1.

Таблица 1. Количественная характеристика материального образца и цифровых 3D моделей

Наименование участка / Значения, см	Материальный образец	Цифровая модель (Clo3D)	Цифровая модель (Style3D)
Длина линии талии 2D	72,8	72,88	72,86
Длина линии талии 3D	79,5	83,61	74,99
Длина линии низа 2D	449,6	449,89	449,89
Длина линии низа 3D	453,4	449,42	449,74
Длина средней линии ПП 2D	60	60	60
Длина средней линии ПП 3D	59,8	60,25	59,95
Длина средней линии ЗП 2D	60	60	60
Длина средней линии ЗП 3D	59,8	60,24	60,07
Длина линии из центра середины $\frac{1}{2}$ ПП от линии талии до линии низа, косая слева 2D	60	59,98	59,98
Длина линии из центра середины $\frac{1}{2}$ ПП от линии талии до линии низа, косая слева 3D	60,1	60,61	59,98
Длина линии из центра середины $\frac{1}{2}$ ПП от линии талии до линии низа, косая справа 2D	60	59,98	59,98
Длина линии из центра середины $\frac{1}{2}$ ПП от линии талии до линии низа, косая справа 3D	60,1	60,57	59,93
Длина линии из центра середины $\frac{1}{2}$ ЗП от линии талии до линии низа, косая слева 2D	60	59,98	59,98
Длина линии из центра середины $\frac{1}{2}$ ЗП от линии талии до линии низа, косая слева 3D	59,9	60,62	59,96
Длина линии из центра середины $\frac{1}{2}$ ЗП от линии талии до линии низа, косая справа 2D	60	59,98	59,98
Длина линии из центра середины $\frac{1}{2}$ ЗП от линии талии до линии низа, косая справа 3D	59,9	60,70	60

На основе данных замеров участков 2D разверток деталей и аналогичных участков моделей (реального и цифровых) вычислены коэффициенты подобия каждого 2D участка к аналогичному 3D участку и представлены в таблице 2.

Таблица 2. Коэффициенты подобия 2D участков конструкции
к 3D участку модели

Наименование участка подобия (2D/3D) / Значение коэффициента подобия	Материальный образец	Цифровая модель (Clo3D)	Цифровая модель (Style3D)
Длина линии талии	0,916	0,872	0,972
Длина линии низа	0,992	1,001	1,000
Длина средней линии ПП	1,003	0,997	1,001
Длина средней линии ЗП	1,003	0,996	0,999
Длина линии из центра середины $\frac{1}{2}$ ПП от линии талии до линии низа, косая слева	0,998	0,990	1,000
Длина линии из центра середины $\frac{1}{2}$ ПП от линии талии до линии низа, косая справа	0,998	0,990	1,001
Длина линии из центра середины $\frac{1}{2}$ ЗП от линии талии до линии низа, косая слева	1,002	0,989	1,000
Длина линии из центра середины $\frac{1}{2}$ ЗП от линии талии до линии низа, косая справа	1,002	0,988	1,000

Также по данным таблиц 2 и 3, сравнивая значения и коэффициенты подобия длин конструктивных участков, можно судить об общей эффективности трехмерных программ с точки зрения способности реалистично воспроизводить преобразование плоских разверток деталей в объемно-пространственную форму. Результаты показали, что программа Style3D смогла более точно смоделировать конструктивные участки в 3D форме, что подтверждает значение коэффициента корреляции подобия конструктивного участка: программа Clo3D – 0,981, а программа Style3D – 0,989.