

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

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Казань 2025

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Казанский национальный исследовательский технологический университет».

Научный руководитель: **Тихонова Наталья Васильевна**, доктор технических наук, доцент

Официальные оппоненты: **Кузьмичев Виктор Евгеньевич**, доктор технических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ивановский государственный политехнический университет», заведующий кафедрой конструирования швейных изделий;
Гетманцева Варвара Владимировна, доктор технических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный университет им. А. Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)», профессор кафедры художественного моделирования, конструирования и технологии швейных изделий

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна».

Защита диссертации состоится «25» декабря 2025 года в 14:00 часов на заседании диссертационного совета 24.2.312.12, созданного на базе ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», по адресу: 420015, г. Казань, ул. К. Маркса, 68, зал заседаний Ученого совета, А-330.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет» и на сайте https://www.kstu.ru/event.jsp?id=172073&id_cat=141.

Отзывы на автореферат и диссертацию в 2-х экземплярах с подписями, заверенными печатью, просим направлять по адресу: 420015, г. Казань, ул. К. Маркса, 68, ФГБОУ ВО «КНИТУ», ученому секретарю диссертационного совета 24.2.312.12. В отзыве указываются фамилия, имя, отчество (полностью), ученая степень с указанием специальности, ученое звание, наименование организации и должность лица, представившего отзыв, с указанием структурного подразделения, почтовый адрес, телефон и адрес электронной почты (при наличии) (п. 28 Положения о присуждении ученых степеней).

Автореферат разослан «__» _____ 2025 года.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
доктор технических наук



Н.В. Тихонова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

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 аватара (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, Корее и Китае. Соответственно, стандартные аватары, 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 Abteu, 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 проверки.

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 «градации формы» контуров плоских разверток деталей станов трапециевидного силуэта для получения визуально различных 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, трапецевидного 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 станов 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.

Автор выражает глубокую благодарность к.п.н., доценту Коваленко Юлии Александровне за помощь в определении направления исследования и обсуждении результатов работы.

ОСНОВНОЕ 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.

Обосновано авторское понимание терминов «цифровая одежда» и «форма цифровой одежды». Рассмотрены положения о способах и средствах формообразования внешней объемной формы цифровой одежды. Установлено, что элементами цифрового представления формы являются развертки деталей и объемно-пространственная структура их поверхности с определенной цифровой текстурой и заданными цифровыми свойствами используемых материалов. Они являются объектами проектирования и создаются в программах автоматизированного проектирования на основе геометрического 2D и/или 3D моделирования. Субъектами проектирования выступают или трехмерные модели типовой фигуры (аватар и/или 3D манекен), или трехмерные модели индивидуальной фигуры (аватар и/или 3D манекен), или трехмерные параметрические модели.

Определены формы представления двухмерных и трехмерных моделей цифровой одежды. 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). Цифровые модели Ф-Ц и Ц-Ф выступают цифровыми двойниками материальной одежды. Рассмотрены и формализованы единые технологии создания двухмерных и трехмерных моделей цифровой одежды.

Выявлена актуальная проблема необходимости совершенствования технологий создания цифровых двойников одежды разных силуэтно-объемных решений, что обусловило поставленные цель и задачи исследования.

Во второй главе определены объекты исследования – аватары цифровой среды, манекены типовых женских фигур, плоские развертки деталей стана женских платьев прямого, трапециевидного и овального силуэтов разных объемных форм, внешняя форма цифровых двойников женских платьев и их материальных образцов, представлены их характеристики. Обоснован выбор методов, оборудования и компьютерного программного обеспечения для проведения исследования.

Исследованы внешние формы манекенов типовой фигуры (164-92-98), параметры которых соответствуют ГОСТ 31396-2009. Сопоставлены контуры их абрисов и сечений по основным конструктивным поясам (рисунок 1), выявлены визуальные и количественные различия, позволившие подразделить манекены по особенностям внешней формы на три группы: манекены «А» имеют округлую проекцию сечения на участках груди, талии и бедер, манекены «Б» имеют овальную

проекцию сечения на участках талии и бедер, расширенную форму контура во фронтальной и уплощенную в сагиттальной плоскостях, манекены группы «В» имеют равномерную проекцию сечений и форму контуров во фронтальной и сагиттальной плоскостях. Таким образом, манекен группы «В» выбран в качестве контрольного.

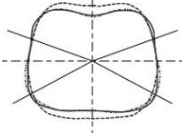
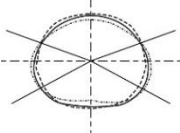
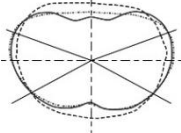
Манекен	Конструктивный пояс		
	Грудной	Талиевый	Бедренный
А+Б+В	передняя зона	передняя зона	передняя зона
			
	задняя зона	задняя зона	задняя зона

Рисунок 1 – Наложение абрисов сечений манекенов по конструктивным поясам с делением на переднюю, заднюю и боковые зоны

Генерация цифровых двойников одежды предполагает подобие субъектов проектирования в цифровой и реальной средах. При создании одежды свободной формы должно наблюдаться подобие в области опорной поверхности, ниже – форма предполагает наличие зоны свободного формообразования, не зависящей от пластики и морфологии фигуры. В связи с этим манекен «В» был сопоставлен с аватарами программ трехмерного проектирования, которым были заданы параметры типовой фигуры (164-92-98). Согласно результатам сравнения морфологических признаков манекена и аватаров, манекен «В» и аватар «А» программы Clo3D имеют наибольшую степень подобия опорной поверхности с учетом изгибов шейного, поясничного отделов позвоночника и наклонов плечевых скатов, поэтому рекомендуется их совместное использование при проектировании цифровых двойников одежды.

Для получения разных силуэтно-объемных форм визуально различных моделей женских платьев разработан алгоритм конструирования плоских разверток деталей станов, который включает рекомендации по преобразованию базовой конструктивной основы в модельную конструкцию изделия с учетом установленных величин конструктивных прибавок и величин расширения деталей по отдельным срезам приемами параллельного и конического расширения. На его основе сконструированы плоские развертки деталей станов 12 женских платьев трапециевидного (семейство моделей МК1), прямого (семейство моделей МК2) и овального (семейство моделей МК3) силуэтов, малого, среднего, больше среднего и большого объемов.

На основе методики определения элементарной единицы впечатления Коробцовой Н.А. установлено, что созданные модели женских платьев являются визуально различными для восприятия. Зрительное различие обеспечивается изменениями конструктивных параметров по ширине плечевого ската и ширине линии низа.

Контуры плоских разверток деталей станов женских платьев прямого, овального и трапецевидного силуэтов описаны математически в целях совершенствования процесса цифрового проектирования одежды. На примере деталей станов трапецевидного силуэта показана 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 трапецевидного силуэта (рисунок 2) для получения визуально различных моделей, выраженная интерполянтном вектор-функции:

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

здесь t – параметр вектор функции в интервале $[0; 1]$, где значение 0 – характеризует начальное состояние, а значение 1 – характеризует крайнее состояние.

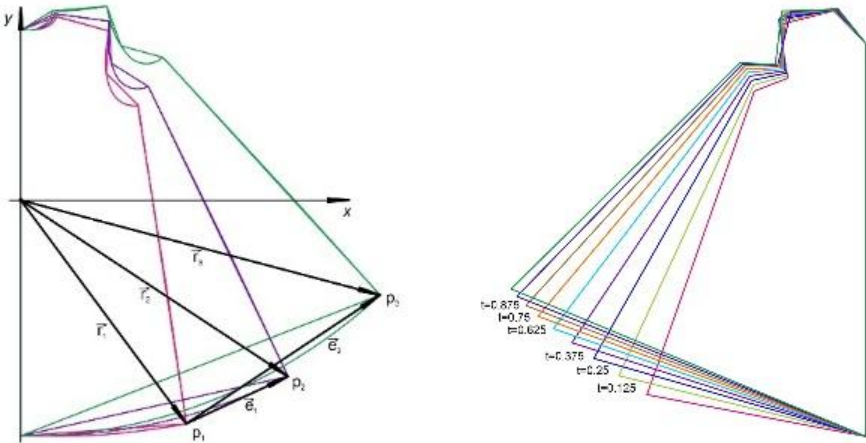


Рисунок 2 – Схема точек для различных значений параметра t

Для визуализации внешней формы женских платьев изготовлено 12 материальных образцов и созданы их цифровые двойники в программе Clo3D с учетом подобия свойств реального и цифрового материалов. Проведена их примерка в цифровой и реальной средах (пример одной формы представлен на рисунке 3).



Рисунок 3 – Пример реальной и цифровой примерки изделия МК1_3 до оценки и корректировки

В третий главе приведены результаты экспериментальной работы по оценке соответствия цифровых двойников женских платьев заданным параметрам и их визуальной идентичности внешней форме материальных образцов,

представлена разработка базы данных цифровых плоских разверток деталей и цифровых двойников женских платьев и описана новая технология создания цифровых моделей одежды разных силуэтно-объемных форм с ее использованием.

Для оценки полученного цифрового результата разработана система показателей и критерии оценки цифровых двойников женских платьев заданным параметрам. Система включает следующие групповые показатели (ГП) экспертной оценки: 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. Для оценки каждого ГП разработаны единичные показатели соответствия с указанием их коэффициентов весомости. Оценка единичных показателей осуществляется на основе условной 5-ти балльной шкалы по принципу семантического дифференциала, где 5 – полное соответствие; 4 – высокая степень соответствия; 3 – умеренная степень соответствия; 2 – низкая степень соответствия; 1 – не соответствует. Итоговые значения баллов по каждому единичному показателю суммируются, определяя величину балла по групповому показателю в целом. По ГП1-ГП4 минимальный бал составляет 1, максимальный – 5, а по ГП5 минимальный балл 4, максимальный – 20. Таким образом, если полученный результат оценки каждого ГП 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 ГП 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.

Согласно предложенной методике произведена экспертная оценка разработанных 12 цифровых форм 3D моделей женских платьев, представленных в виде двухмерных изображений: вид спереди, вид справа, вид слева, вид сзади. Модели МК2_3, МК2_4 и МК3_1 получили оценку «требуется незначительная доработка», остальные – «результат достигнут».

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. Только при соблюдении указанных выше условий, можно производить оценку визуальной идентичности формы.

Для оценки визуальной идентичности формы разработана методика экспертной оценки двухмерных изображений цифровых двойников женских платьев и их материальных образцов на основе метода семантического дифференциала. Определены показатели, характеризующие визуальную идентичность цифровых двойников внешней форме материальных образцов: по геометрическому виду; по величине; по массе; по фактуре материала; по пластичности материала; по количеству фалд поверхности формы; по форме и направлению фалд поверхности формы.

Для оценки показателей принята условная 5-ти балльная шкала по принципу семантического дифференциала, где 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.

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_4). Исключение составляют модели МК1_1, МК1_2 и МК1_3, которые имеют высокую степень визуальной идентичности формы.



Рисунок 4 – Фрагмент сопоставления двухмерных изображений цифровых двойников и материальных образцов

— — цифровой двойник,
- - - - материальный образец

посредством измерения углов и длин абрисов форм по их двухмерным изображениям (Clo3D, Corel Draw) (рисунок 5); геометрии контуров сечений по основным

С целью обоснования установленной визуальной идентичности цифровых двойников внешней форме материальных образцов проведены дополнительные исследования: физико-механических свойств материалов изделий в цифровой и реальной средах посредством зрительного восприятия подобию контуров форм цифровых и материальных моделей во фронтальной и проекционных плоскостях (Adobe Illustrator) (рисунок 4); характера формообразования рельефа поверхности

конструктивным поясам цифровых трехмерных моделей одежды и 3D сканов реальных изделий в программах Blender и Adobe Illustrator (рисунок 6); изометрии форм цифровых трехмерных моделей одежды и 3D сканов реальных изделий с использованием программы Gom Inspect Suite (рисунок 7).



Рисунок 5 – Фрагмент измерения углов отклонения фалд внешних форм цифровых двойников и материальных образцов платьев

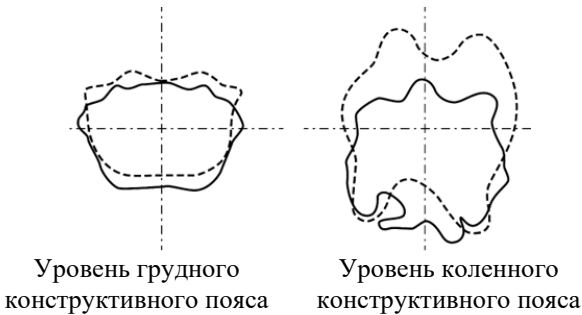


Рисунок 6 – Фрагмент геометрии линий границ форм цифровых и материальных моделей в горизонтальных сечениях, где — — материальный образец, - - - — цифровая модель



Рисунок 7 – Фрагмент изометрии цифровых двойников и 3D сканов материальных образцов в программе Gom Inspect Suite

Для этого преобразование физической объемно-пространственной структуры материальных образцов всех силуэтно-объемных форм в цифровой формат осуществлено методом бесконтактного 3D сканирования с применением программно-аппаратного комплекса Texel Portal MX. Цифровые 3D формы цифровых и материальных моделей сопоставлены в 3D и 2D CAD-системах и графических редакторах. Валидация выполнена с применением органолептических и измерительных методов.

Выявлена зависимость степени визуальной идентичности внешней формы цифровых двойников и материальных образцов и величин отклонения периметров и площадей контуров форм в четырех проекциях двухмерных изображений. Определен интервал визуального безразличия, при котором формы цифровых моделей и материальных образцов воспринимаются как совершенно идентичные $\bar{\Delta P} = \pm 0 \div 3,5 \%$; $\bar{\Delta S} = \pm 0 \div 13 \%$. При $\bar{\Delta P} = \pm 3,51 \div 7 \%$; $\bar{\Delta S} = \pm 13,01 \div 26 \%$ наблюдается высокая степень визуальной идентичности; при $\Delta P = \pm 7,01 \div 10,5 \%$; $\Delta S = \pm 26,01 \div 39 \%$ – умеренная; при $\Delta P = \pm 10,51 \div 14 \%$; $\Delta S = \pm 39,01 \div 51 \%$ – низкая; при ΔP – *свыше 14%*; ΔS – *свыше 51%* – идентичность не наблюдается.

В ходе экспериментальной работы выявленные различия внешних форм цифровых двойников и материальных образцов позволили разработать рекомендации по корректировке плоских разверток деталей и условиям проведения цифровой примерки, которые обеспечивают высокореалистичную визуализацию моделей и качественную посадку изделий на фигуру (рисунок 8).



Рисунок 8 – Фрагмент цифрового двойника и материального образца изделия МК2_2

На основе отработанных плоских разверток деталей станок и цифровых 3D моделей базовых форм создана база данных цифровых двойников женских платьев на типовую фигуру базового размера 164-92-98. Практическое решение базы данных реализовано в программе трехмерного проектирования одежды Clo3D (режим «Modular»). Фрагмент базы данных моделей представлен на рисунке 9.

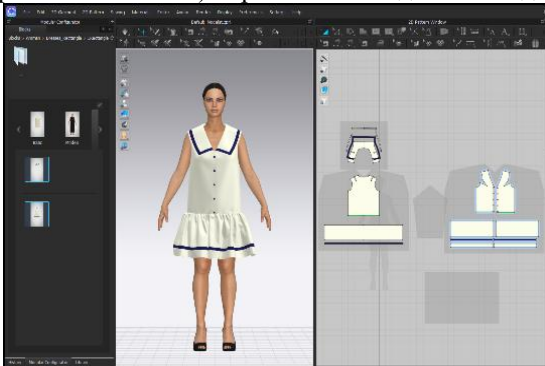


Рисунок 9 – Фрагмент базы данных в интерфейсе программы Clo3D

Таким образом, проведенные в работе теоретические и экспериментальные исследования позволили разработать технологию создания и преобразования цифровых двойников женских платьев разных силуэтно-объемных форм, алгоритм которой представлен на рисунке 10.

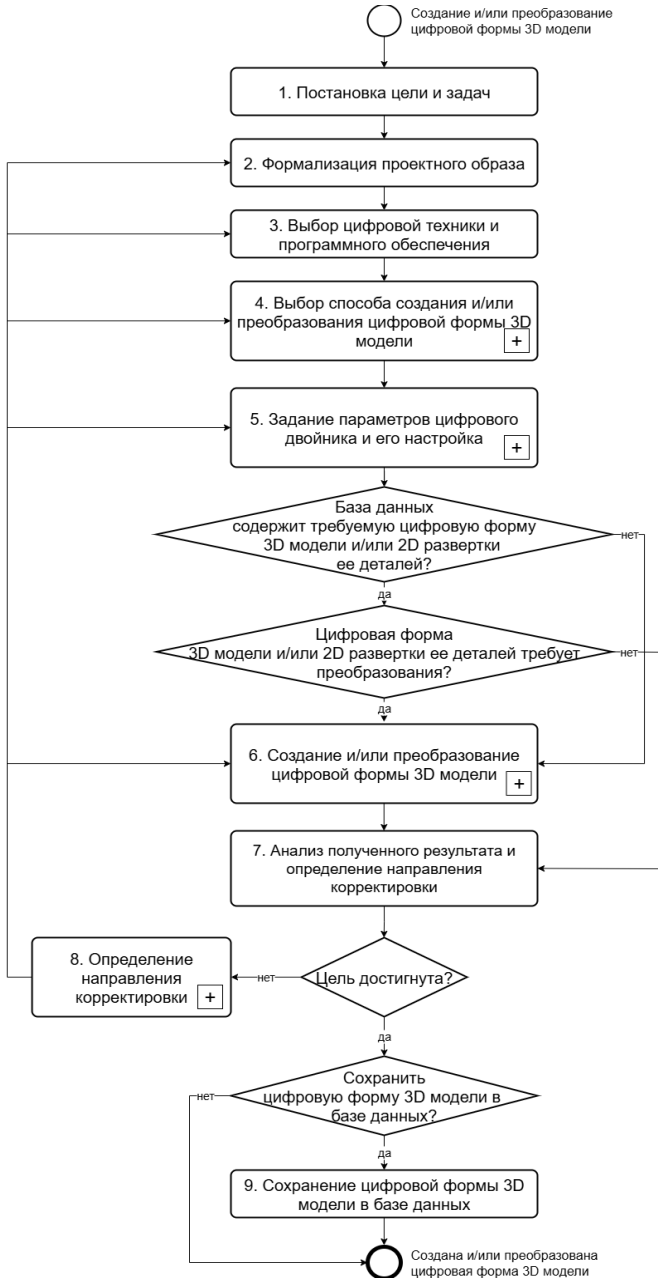


Рисунок 10 – Схема алгоритма создания и преобразования цифровых двойников женских платьев разных силуэтно-объемных форм

Разработанная технология создания цифровых двойников женских платьев разных силуэтно-объемных форм включает: определение цели и задач проектирования (первый этап); разработку проектного образа, выраженного вербально/невербально элементами одежды и/или их сочетаниями в аналоговом или цифровом виде на основе технического задания и/или как результат творческого процесса (второй этап); определение набора цифровой техники и программного обеспечения, необходимого для создания формы цифровой 3D модели, заданной исходными данными (третий этап); выбор способа создания и/или преобразования формы цифровой 3D модели в зависимости от исходных данных и выбранного набора цифровой техники и программного обеспечения (четвертый этап); выбор субъекта проектирования, задание его параметров и настройку в соответствии с размерными признаками и параметрами формы заданной фигуры в выбранном программном обеспечении (пятый этап); обращение к базе данных плоских разверток деталей и моделей цифровой одежды для создания и/или преобразования формы цифровой 3D модели; выполнение логических условий по определению наличия необходимой цифровой формы 3D модели в базе данных и принятию решения о ее использовании или переходе на следующий этап в случае отсутствия необходимой цифровой формы 3D модели в базе данных; создание и/или преобразование и/или градация цифровой формы 3D модели (шестой этап); анализ результата (седьмой этап); выполнение корректировки формы цифровой 3D модели в случае неудовлетворительного результата (восьмой этап); включение полученной формы цифровой 3D модели в базу данных (девятый этап).

В четвертой главе представлены результаты апробации разработанной технологии при создании цифровых двойников женской однослойной плечевой одежды из различных цифровых образцов материалов в Clo3D, при создании плечевой и поясной женской одежды с использованием программ трехмерного проектирования специального (Assyst, Style3D) и общего (3ds Max) назначения, а также результаты ее внедрения в производственный процесс промышленных предприятий. Проведен расчет ее экономической эффективности.

Апробация показала успешность и работоспособность технологии при создании внешних форм цифровых двойников женской однослойной плечевой одежды из различных цифровых образцов материалов: «тафта», «крепдешин», «атлас», «органза», «кожа», «рибана», «джерси», «лен». Разработанные модели включены в базу данных.

Результаты апробации технологии с использованием программ трехмерного проектирования специального назначения Assyst и Style3D показали достаточно высокую степень визуальной идентичности цифровых двойников и материальных образцов, однако полученные формы отличаются пластикой и силуэтными линиями ввиду того, что программы по-разному воспроизводят свойства применяемых материалов, а аватары имеют антропометрические особенности формы, что влияет на посадку изделий, наличие или отсутствие дефектов (рисунок 11). Апробация технологии с использованием программы общего назначения 3ds Max показала возможность ее применения, однако требует дополнительных настроек параметров цифровой примерки для получения требуемой визуализации формы

и проведения дополнительных испытаний. Реализация разработанной технологии для создания внешней формы поясной одежды подтвердила возможность ее использования в проектировании различных видов изделий в условиях включения их базовых форм в базу данных.



Рисунок 11 – Фрагмент сравнения цифровых двойников, созданных в результате апробации технологии с использованием разных программ трехмерного проектирования

Апробация разработанной технологии создания и преобразования цифровых моделей одежды разных силуэтно-объемных форм в условиях ООО «Сервис-МК» и ООО «Харизма» подтвердила возможность ее внедрения в производственный процесс промышленного предприятия и показала ее экономическую 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», «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.

Основные результаты работы изложены в следующих публикациях:

Статьи, опубликованные в ведущих рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК РФ:

1. 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>.

2. 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>.

3. Сулейманова, Е.А. Понятие «цифровой костюм» и сфера его применения / Е. А. Сулейманова, Н. В. Тихонова, Ю. А. Коваленко // Костюмология. – 2023. – Т 8. – №4. – URL: <https://kostumologiya.ru/PDF/07TLKL423.pdf>.

4. 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.

5. Сулейманова, Е. А. Анализ визуальной идентичности формообразования поверхности юбки «солнце» цифровой 3D модели и реального образца / Е. А. Сулейманова, Ю. А. Коваленко, Н. В. Тихонова // Костюмология. – 2025. – Т 10. – №2. – URL: <https://kostumologiya.ru/PDF/11TLKL225.pdf>

Публикации в научных журналах, индексируемых в базе данных Scopus / Web of Science

6. Сулейманова, Е.А. От идеи до реальности: процесс создания одежды для персонажа компьютерной игры / Е. А. Сулейманова, Р. Р. Газизов, В. В. Кугуракова [и др.] // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. – 2024. – № 5(413). – С. 13-19.

7. 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.

Статьи в сборниках научных трудов и материалов конференций

8. Сулейманова, Е. А. Актуальность создания и преобразования конструктивных решений реального костюма в виртуальный / Е. А. Сулейманова, Ю. А. Коваленко, Н. В. Тихонова // VIII Международная научно-практическая конференция «Товароведение. Биотехнология и автоматизация обработки кожи и меха». – Улан-Удэ. – 2022. – С. 69-71.

9. Сулейманова, Е. А. Актуальность проектирования виртуального костюма / Е. А. Сулейманова, Ю. А. Коваленко, Н. В. Тихонова // Сборник работ на лучшую

научно-исследовательскую работу студентов и аспирантов КНИТУ, посвященный году педагога и наставника «Жить в XXI веке». – Казань. – 2023. – С. 680-684.

10. Сулейманова, Е. А. Цифровые инструменты в проектировании изделий легкой промышленности / Е. А. Сулейманова, Н. В. Тихонова, Ю. А. Коваленко, Т. В. Жуковская // I Всероссийская научная конференция с международным участием «Новации в процессах проектирования и производства изделий легкой промышленности». – Казань. – 2023. – С. 126-130.

11. 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 // Национальная (с международным участием) молодежная научно-техническая конференция «Молодые ученые - развитию Национальной технологической инициативы (ПО-ИСК)». – Иваново. – 2023. – С. 719-721.

12. Сулейманова, Е. А. Использование универсальной конструктивной базовой основы в промышленном дизайне одежды / Е. А. Сулейманова, Н. В. Тихонова, Ю. А. Коваленко // VII Всероссийская заочная научно-практическая конференция с международным участием «Дизайн XXI века». – Тула. – 2023. – С. 289-294.

13. 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 // XXI Всероссийская научно-практическая конференция студентов и аспирантов «МОЛОДЕЖЬ. НАУКА. ТВОРЧЕСТВО» проходившей по программе II Международного форума «ИТ. НАУКА. КРЕАТИВ». – Омск. – 2024. – С. 257-264.

14. Сулейманова, Е. А. Сравнительный анализ функций одежды реального и цифрового костюмов / Е. А. Сулейманова, Ю. А. Коваленко, Н. В. Тихонова // Национальная (с международным участием) молодежная научно-техническая конференция «Молодые ученые - развитию Национальной технологической инициативы (ПО-ИСК)». – Иваново. – 2024. – С. 696-698.

15. 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 // II Всероссийская конференция ученых, аспирантов и студентов с международным участием «Новации в процессах проектирования и производства изделий легкой промышленности». – Казань. – 2024. – С. 91-98.

16. 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.

17. Сулейманова, Е. А. Цифровое проектирование женской одежды разных силуэтных форм / Е. А. Сулейманова, Н. В. Тихонова, Ю. А. Коваленко // III Всероссийская конференция ученых, аспирантов и студентов с международным участием «Новации в процессах проектирования и производства изделий легкой промышленности». – Казань. – 2025. – С. 149-159.