

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМ. А.Н. КОСЫГИНА (ТЕХНОЛОГИИ. ДИЗАЙН. ИСКУССТВО)»**

На правах рукописи



ДУГЕЛЬНАЯ КСЕНИЯ НИКОЛАЕВНА

**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ШВЕЙНЫХ ИЗДЕЛИЙ С
ОБЪЕМНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ ИЗ ТЕРМОПЛАСТИКА**

**Специальность 2.6.16. Технология производства изделий текстильной и
легкой промышленности**

**Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

**Научный руководитель –
доктор технических наук,
доцент Лунина Е.В.**

Москва – 2025

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
ГЛАВА 1. АНАЛИЗ УРОВНЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОБЪЕМНОЙ ПЕЧАТИ В ПРОИЗВОДСТВЕ ОДЕЖДЫ	14
1.1 Анализ технологий и оборудования для выполнения объемной печати полимерными материалами.....	14
1.2 Анализ видов и свойств материалов для выполнения объемной печати	31
1.3 Анализ применения 3D-печати в индустрии моды.....	36
1.4 Обоснование актуальности сочетания текстильных и объемных напечатанных на 3D-принтере деталей при производстве швейных изделий.....	45
Выводы по главе 1	51
ГЛАВА 2. ИССЛЕДОВАНИЕ МАТЕРИАЛОВ И ТЕХНОЛОГИЙ АДДИТИВНОЙ ПЕЧАТИ	53
2.1 Разработка экспериментальных образцов с элементами объемной печати	57
2.2 Исследование качества адгезии термопластичного полимера с различными текстильными материалами	64
2.3 Исследование влияния параметров текстильного материала и полимерного элемента на время прессования для образования надежного адгезионного соединения.....	74
2.4 Определение влияния толщины полимерного элемента на свойства получаемого композиционного материала.....	82
2.5 Дефекты адгезии 3D-элемента из полимера и текстильного материала	88
Выводы по главе 2	95
ГЛАВА 3. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ШВЕЙНЫХ ИЗДЕЛИЙ С ЭЛЕМЕНТАМИ ОБЪЕМНОЙ ПЕЧАТИ ТЕРМОПЛАСТИЧНЫМ ПОЛИМЕРОМ.....	98
3.1 Разработка способа декоративного дублирования деталей кроя швейного изделия объемными элементами из термопластичного полимера	99

3.2 Разработка обобщенной структуры технологии изготовления швейных изделий с декоративным дублированием элементами из термопластичного полимера	106
3.3 Разработка экспериментальных моделей женской одежды с применением орнаментального дублирования полимерными деталями	110
3.4 Рекомендации по технологии соединения текстильного материала и объемных элементов из термопластичного полимера при помощи прессов	122
Выводы по главе 3	123
ГЛАВА 4. АСПЕКТЫ ВНЕДРЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ШВЕЙНЫХ ИЗДЕЛИЙ С ЭЛЕМЕНТАМИ ОБЪЕМНОЙ ПЕЧАТИ ТЕРМОПЛАСТИЧНЫМ ПОЛИМЕРОМ.....	125
4.1 Промышленная апробация разработанной технологии изготовления швейных изделий с объемными дублирующими элементами из полимера при изготовлении корсета женского	125
4.2 Промышленная апробация разработанной технологии изготовления швейных изделий с объемными дублирующими элементами из полимера при изготовлении блузки женской.....	129
4.3 Оценка качества экспериментальных образцов женской одежды и их эксплуатационных характеристик	131
4.4 Методика внедрения новых материалов для 3D- печати в производство швейных изделий	135
4.5 Разработка рекомендаций для массового производства швейных изделий с полимерными элементами различного функционального назначения	149
Выводы по главе 4	155
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	157
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	160
ПРИЛОЖЕНИЕ А. Результаты опроса оценки экспертов на прочность и качество адгезии 3D-элементов из полимера с текстильным материалом (100% лён, плотностью 210 г/м2).....	181

ПРИЛОЖЕНИЕ Б. Граф технологического процесса изготовления корсета женского с применением орнаментального дублирования полимерными деталями	184
ПРИЛОЖЕНИЕ В. Граф технологического процесса изготовления блузки женской с применением орнаментального дублирования полимерными деталями	186
ПРИЛОЖЕНИЕ Г. Анкета для оценки качества экспериментальных образцов женской одежды с объемными элементами из термопластика и эксплуатационных характеристик.....	189
ПРИЛОЖЕНИЕ Д. Акт внедрения и апробации	190
ПРИЛОЖЕНИЕ Е. Патент РФ на полезную модель	191
ПРИЛОЖЕНИЕ Ж. Акт внедрения и апробации	192
ПРИЛОЖЕНИЕ З. Сравнительная характеристика 3D-принтеров, технология печати FDM	193

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы. По данным Указа Президента РФ от 07.05.2024 № 309 «О национальных целях Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года» [1], анализ текущей ситуации в развитии отрасли показал рост в производстве одежды, а также импортозамещения. Российская Федерация ввела меры поддержки российских брендов, чем увеличила спрос на отечественную продукцию. Была обеспечена поддержка стратегически значимых отраслей в производстве инновационных материалов и методов переработки. Сохранились и увеличились рабочие места за счет поддержки легкой промышленности. Эти меры привели к открытию масштабных производств, повышению ВВП от 0,9% до 1,5%, сокращению «серого импорта», нелегального производства.

По данным аналитиков перспектива развития легкой промышленности будет заключаться в цифровизации [2]. Анализ рынка швейных изделий показал, что тенденции развития до 2025 года будут направлены на использование инновационных материалов и технологий, увеличение объемов производства, расширение ассортимента, использование 3D-печати, сочетание натуральных материалов с пластиками и металлами, а также экологичности производства с возможностью дальнейшей переработки изделий, создание безотходных или малоотходных производств.

Технология объемной печати, аддитивные технологии, а также инновационные материалы находят свое применение в повседневной жизни. Технологии объемной печати в ближайшем будущем позволят печатать различные предметы, в том числе одежду, обувь, аксессуары, а также предметы декора. Аддитивные технологии, в свою очередь, открывают широкие перспективы для разработки в трехмерной среде тех деталей, которые будут напечатаны на 3D-принтере. Объемная среда при помощи программного обеспечения показывает исследователю возможность создания целостной оболочки того или иного

предмета при помощи моделирования свойств используемых материалов: термопластов, фотополимеров, полиамидов и полиуретанов. Инновационные разработки материалов для 3D-печати в индустрии моды направлены на создание термопластика, свойства которого будут похожими со свойствами текстильных материалов для создания комфортного состояния пододежного пространства.

Передовые отечественные и зарубежные бренды активно демонстрируют возможности печати одежды на 3D-принтере, однако такую одежду в повседневной жизни эксплуатировать невозможно. Ограниченный ассортимент материалов, размер деталей, сложность сборки конструкций и объемность формы не позволяют изготавливать напечатанные изделия в массовом производстве.

Используемые материалы для 3D-печати, в чистом виде, не пригодны для создания удобной одежды, обеспечивающей комфортное состояние пододежного пространства, поскольку не обладают такими свойствами как гигроскопичность, воздухопроницаемость, драпируемость. По этой причине предметы одежды, напечатанные целиком на 3D-принтере, невозможно использовать для повседневной носки, они не способны подстраиваться под изменения тела человека в динамике и не удовлетворяют комплексу гигиенических требований, предъявляемых к одежде бытового назначения. В связи с этим, внедрение технологии 3D-печати в массовое производство одежды целесообразно осуществлять путем зонального нанесения элементов из термопластика на детали кроя, что позволит придать новые эксплуатационные свойства швейным изделиям, расширить их ассортимент и функциональность.

В настоящее время отсутствует рациональный подход к решению проблемы изготовления швейных изделий с объемными элементами из термопластика. Однако прогрессивные и инновационные–предприятия легкой промышленности направлены на использование аддитивных технологий, и технологий 3D-печати, в частности, в целях уменьшения трудозатрат производства, увеличения рентабельности, конкурентоспособности, организации безотходного или малоотходного производства, что в сумме создает предпосылки для разработки

технологии изготовления швейных изделий с объемными элементами из термопластика.

Степень научной разработанности проблемы. Передовые зарубежные и отечественные бренды экспериментируют с моделями одежды, которые можно напечатать на 3D-принтере и сразу надеть. Но в силу ряда факторов такие изделия являются неносибельными и не используются в массовом производстве.

История создания одежды, напечатанной на 3D-принтере, берет свое начало из медицины. Доктор Лелио Леончини, Джеймс Полиси и Роберт Дженсен в Стэнфордском университете, создали первый ортопедический корсет для лечения сколиоза, напечатанный на 3D-принтере [3]. Нидерландский модельер Айрис ван Херпен впервые применила метод 3D-печати в одежде и показала первую коллекцию на Неделе моды в Амстердаме в 2010 году [4]. Вслед за ней, набирая популярность, в 2013 году Майкл Шмидт и Фрэнсис Битонти создали платье из 17 деталей, напечатанное на 3D-принтере для Dita Von Teese [5]. В 2015 году в Израиле студентка Данит Пелег продолжила эксперименты с материалами и структурами, используемые в 3D-печати, и создала коллекцию одежды, напечатанной на домашнем 3D-принтере [6]. Джесика Розенкрантц и Джесси Луис-Розенберг в 2023 году создали кинетическое платье, напечатанное на 3D-принтере, состоящее из 2279 печатных панелей, соединенных 3316 петлями [7]. Но ни одно из вышеуказанных изделий не может быть изготовлено в массовом производстве из-за сложной технологии обработки и сборки.

Использование 3D-печати в изготовлении одежды изучали Сеницына Е.И., Ковалева О.В. (РГУ им. А.Н. Косыгина 2019 г.), которые детально описали процесс изготовления корсета, напечатанного на 3D-принтере [8]. Гусева М.А., Гетманцева В.В., Андреева Е.Г., Разин И.Б., Петросова И.А., Гусев И. Д. (РГУ им. А.Н. Косыгина 2020 г.) предложили методику создания изделий с элементами 3D-печати [9]. Верховская А.С. (РГУ им. А.Н. Косыгина 2022 г.) рассмотрела применение инновационных технологий в процессе создания коллекции одежды [10]. Букашкина Е.А. (РГУ им. А.Н. Косыгина 2022 г.) создала платье-конструктор из элементов, напечатанных на 3D-принтере [11]. Структура объемных элементов

была приближена к структуре ткани. Объемные детали были напечатаны, а после – соединены между собой механическим образом.

На изучение перспектив развития 3D-печати в изготовлении одежды направлены труды современных ученых: Горбушина А.Г., Серебренникова К.Ю., Петросовой И.А., Гетманцевой В.В., Андреевой Е.Г., Разина И.Б., Гусева И.Д., Гусевой М.А., Ибрагимовой Р.С., Головкина Д.С., Сорокиной Д.Н., Бородиной Е.В., Почаниной У.Г., Ращинского Н.В., Хватынец В.А., Кривоносовой Н.В., Коноваловой О.Б., Костылевой В.В., Черного И.Э., Орловой Л.Г., Синицыной Е.И., Ковалевой О.В., Логвин В.Н., Мурадова И.С., Назарова К.Р., Кудашова Н.С., Соболевой И.В., Красильниковой Н.С., Галкиной А.Е., Холодилова А.А., Аннаклычевой М.С., Михайлова М.М., Никитиной Е.И., Полякова Р.И., Канатова А.В., Рубеняна Л.А., Елизарова А.А., Летуновой О.В., Ермиенковой Н.А., Ермиенковой И.Ю., Шестакова В.Г., Привалова А.С. и других.

Анализ технологий и методов изготовления одежды с применением 3D-печати и 3D-принтеров отечественных и зарубежных исследователей доказывает актуальность разработки технологии изготовления швейных изделий с объемными элементами из термопластика, которая будет применима для массового производства. Предлагаемая в работе технология направлена на сохранение комфортного состояния пододежного пространства швейных изделий при внедрении неодежных материалов. Нанесение объемных элементов из термопластика на текстильный материал выполняется после этапа раскроя и до сборки изделия, что не требует кардинальной реорганизации технологического процесса. Предлагаемая технология предназначена для расширения модельного ряда за счет изменения рисунка объемных элементов, что исключает частую сменяемость конструкций моделей и позволит привлечь потребителя к дизайну и инновационным материалам в изделии, существенно повышая рентабельность.

Объект исследования – процесс изготовления одежды с использованием объемных элементов из термопластика.

Предмет исследования – одежда, изготовленная с использованием технологии объемной печати.

Цель работы состоит в разработке технологии изготовления одежды с элементами объемной печати, реализуемой в массовом производстве для повышения эффективности изготовления, сокращения затрат и расширения возможностей персонализации продукции.

В соответствии с поставленной целью в работе решены следующие **задачи**:

- проанализирован уровень использования объемной печати в производстве одежды;
- исследованы материалы и технологии 3D-печати;
- исследованы возможности адгезионного соединения полимерных объемных элементов с текстильными материалами различного волокнистого состава;
- разработан способ соединения объемных элементов из термопластика с текстильными материалами при помощи прессы для ВТО;
- определены оптимальные параметры прессования для формирования надежного адгезионного соединения объемных элементов из термопластика и текстильного материала;
- разработана технология изготовления швейных изделий с элементами объемной печати термопластичным полимером;
- проведена апробация разработанной технологии изготовления швейных изделий с элементами объемной печати термопластичным полимером в промышленных условиях;
- разработана методика внедрения новых материалов для 3D-печати в производство швейных изделий.

Исследования проводились на кафедре художественного моделирования, конструирования и технологии швейных изделий РГУ им. А.Н. Косыгина и в производственных условиях ООО «ОКБ Беркана» и Дома Мода Валентина Юдашкина.

Методы исследования и технические средства решения задач. В работе использованы: системный анализ и синтез исходной информации; аддитивные технологии; методы эмпирического исследования; инновационные методы проектирования одежды; метод 3D-печати термопластичным полимером;

стандартные и инновационные методы исследования свойств одежных материалов и предметов одежды.

Научная новизна заключается в:

- разработке технологии изготовления одежды с декоративными дублирующими элементами объемной печати из термопластика, соединяемыми с текстильными материалами методом прессования, в результате которого формируется адгезионное соединение;
- предложенной классификации дефектов швейных изделий с объемными элементами из термопластика по причине возникновения, учитывающая возможности их устранения;
- разработке комплексного подхода к внедрению новых материалов для 3D-печати в производство швейных изделий, изложенного в виде методики последовательной оценки экологичности, физико-механических свойств и температуры печати новых материалов, анализа габаритов и стоимости оборудования для их обработки, а также определения технико-экономических показателей производства.

Теоретическая значимость работы заключается в разработке нового подхода внедрения технологии 3D-печати полимерными материалами в классическую технологию изготовления швейных изделий без существенной реорганизации технологического процесса.

Практическую значимость работы составляют:

- два равноценных по трудоемкости способа декоративного дублирования деталей края швейного изделия с объемными элементами из термопластичного полимера: дублирование деталей края объемными элементами из термопластичного полимера при помощи плоского пресса или специальных прессов и дублирование ткани объемными элементами из термопластичного полимера при помощи проходного пресса;
- оптимальные с точки зрения технологичности и качества адгезии параметры процесса прессования льняной ткани и 3D-элементов и полимера TPU и

выведенная зависимость времени прессования от толщины полимерного 3D-элемента;

- методика определение качества адгезии объемных элементов из термопластика и текстильного материала для оценки качества швейных изделий в массовом производстве;
- обобщенная структура технологии изготовления швейных изделий с декоративными дублирующими элементами из термопластика.

Достоверность проведенных исследований подтверждается согласованностью и сходимостью полученных теоретических и экспериментальных результатов диссертационного исследования, использованием современных информационных технологий, методов и средств проведения экспериментов.

Основные положения, выносимые на защиту:

- способ соединения элементов из термопластика с текстильным материалом прессованием, т.е. путем воздействия повышенной температуры и давления на промышленных прессах любого типа без использования влаги.
- технология изготовления швейных изделий с декоративными дублирующими элементами из термопластичного полимера;
- оптимальные параметры процесса прессования 3D-элемента из полимера TPU (Flex) и льняной ткани;
- два способа декоративного дублирования деталей кроя швейного изделия с объемными элементами из термопластичного полимера;
- классификация дефектов швейных изделий с объемными элементами из термопластика по причине возникновения, учитывающая возможности их устранения;
- методика внедрения новых материалов для 3D- печати в производство швейных изделий.

Соответствие паспорту специальности. Работа соответствует следующим пунктам паспорта научной специальности 2.6.16 «Технология производства изделий текстильной и легкой промышленности»: 3 – Технологии (в

том числе, нанотехнологии) волокон, нитей, материалов и ИТЛП; 14 – Аддитивные технологии. Автоматизация процессов построения и моделирования ИТЛП в виртуальной среде, в том числе с использованием технологий обратного инжиниринга; 27 – Технологии и способы декорирования и реставрации материалов и ИТЛП.

Личный вклад соискателя состоит в формулировании цели, основных задач исследования. Автор провела всесторонний анализ уровня использованию объемной печати в производстве одежды, исследовала материалы и технологии аддитивной печати, разработала технологию изготовления швейных изделий с элементами объемной печати термопластичным полимером, разработала способы декоративного дублирования деталей кроя швейного изделия с объемными элементами из термопластичного полимера, определила оптимальные параметры декоративного дублирования, апробировала разработанную технологию в производственных условиях, разработала рекомендации для массового производства швейных изделий с полимерными элементами различного функционального назначения.

Апробация и реализация результатов работы. Результаты диссертационной работы докладывались и получили положительные отзывы на: Международном молодёжном конкурсе научных проектов «Стираем границы» (г. Москва, 20-21 октября 2021 г.); Всероссийской научной конференции молодых исследователей с международным участием «Социально-гуманитарные проблемы образования и профессиональной самореализации «Социальный инженер-2021» (г. Москва, 6-10 декабря 2021 г.); I Международной научно-практической конференции «Современные концепции в дизайне: обмен опытом» (г. Москва, 11 ноября 2023 г.), International Conference on Emerging Topics in Materials Science and Applied Engineering Technology (Ташкент, Узбекистан, 24 ноября 2022 года).

Апробация основных положений была выполнена в производственных условиях ООО «ОКБ Беркана» и Дома Моды Валентина Юдашкина.

Публикации. Основные положения диссертационной работы опубликованы в 8 печатных работах, 4 из которых – в рецензируемых научных изданиях,

рекомендованных ВАК при Минобрнауки России, 3 – тезисов докладов всероссийских и международных конференций, 1 патент на полезную модель РФ.

Структура и объем работы. По своей структуре диссертационная работа состоит из введения, 4 глав, выводов по каждой главе, общих выводов по работе, библиографического списка, приложений. Работа изложена на 193 страницах машинного текста, содержит 54 рисунка, 17 таблиц. Библиографический список включает в себя 168 библиографических и электронных источников. Приложения представлены на 13 страницах.

ГЛАВА 1. АНАЛИЗ УРОВНЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОБЪЕМНОЙ ПЕЧАТИ В ПРОИЗВОДСТВЕ ОДЕЖДЫ

Технологии в производстве одежды постоянно совершенствуются. Технологический процесс направлен на производство швейных изделий высокого качества в короткий временной промежуток. Из-за переполненного рынка различными швейными изделиями сводится к минимуму индивидуальный подход к потребителю. Все изделия похожи друг на друга, нет индивидуальности.

В условиях массового, поточного производства, частая сменяемость моделей влияет на рентабельность производства и стоимость швейных изделий. Инновационные технологии позволяют снизить стоимость изделий, сделать их доступнее для рынка, расширить модельный ряд и сохранить индивидуальный подход к каждому потребителю.

Использование объемной печати в производстве одежды позволяет повысить конкурентоспособность на переполненном рынке, увеличить временные промежутки сменяемости моделей на производстве и сохранить индивидуальный подход к каждому потребителю за счет изменения рисунка на этапе объемной печати.

1.1 Анализ технологий и оборудования для выполнения объемной печати полимерными материалами

Технология объемной печати – это передовая технология, которая широко используется в легкой промышленности, производстве, здравоохранении, аэрокосмической промышленности и многих других отраслях.

3D-печать с самого начала нашла свое применение в медицине. Ее широко используют для трансплантации органов и протезировании. После удачных операций 3D-печать привлекла свое внимание для использования в других областях. В 2012 году корпорацией LayerWise был напечатан на 3D-принтере

первый в мире имплант, титановая челюсть, которую впервые вживили. Операция прошла успешно [12].

В 2024 году трехмерная печать используется практически во всех отраслях медицины: стоматологии, протезировании, хирургии и микрохирургии глаза, гинекологии и т.д. 3D-технологии позволяют выращивать органы и ткани. Специальные биосовместимые материалы и их вспомогательные компоненты позволяют выполнять трехмерную печать клетками, которые создают полнофункциональные живые ткани. 3D-биопечать упрощает и удешевляет процесс трансплантации жизненно важных тканей и органов.

В 2014 году в Стэнфордском университете, США 3D Systems, Джеймс Полиси и Роберт Дженсен создали уникальный экзоскелет. После этого в Детской больнице Окленда провели исследования в лечении сколиоза при помощи корсета, напечатанного на 3D-принтере. Корсет настолько точно был изготовлен, что результаты лечения впечатлили. Помимо этого, его дизайн очень нравился пациентам (рис.1.1) [13].



Рисунок 1.1 – Корсет, напечатанный на 3D-принтере [13]

Первым автором концепции 3D-печати был писатель-фантаст Мюрреем Лейнстером в 1945 году [14]. Йоханнес Ф. Готвальд в 1971 году подал первый патент на быстрое прототипирование и контролируемое производство [15]. Уильям Мастерсом в 1984 год зарегистрировал патент «Компьютерный автоматизированный производственный процесс и система» [16], что послужило трамплином и основой для большинства систем 3D-печати.

В 2009 году объемная печать различными полимерными материалами нашла свое применение в повседневной жизни. Полимерными материалами являются высокомолекулярные соединения. В зависимости от состава и назначения они разделяются на: пластмассы, композиты, пластики, термопластики. В свою очередь, полимерный материал для 3D-печати – это пластик или термопластик, так как в процессе печати сопло 3D-принтера нагревается и плавкость полимерного материала должна быть соответствующей.

Из года в год технология объемной печати активно развивается и совершенствуется. Возможно напечатать человеческие органы, дома, машины, мотоциклы, предметы декора, аксессуары и многое другое [17].

Легкая промышленность не осталась в стороне. Производители спортивной обуви активно используют технологию объемной печати полимерными материалами, которая позволяет сделать обувь комфортной и долговечной для потребителя.

Ведутся работы по совершенствованию технологии объемной печати для производства одежды. Колиева Ф.А., Гобеева А.В., Гркиян А.О., Гетманцева В.В. в статье описали перспективы применения 3D печати при проектировании предметов одежды [18]. В статье описаны модели одежды, изготовленные при помощи технологий трехмерной печати методом селективного лазерного спекания, лазерной стереолитографии, технологии PolyJet, MJM. Изделия, по своим свойствам, требуют доработки используемого материала для 3D-печати для повышения гигиенических свойств изделий и запуска в массовое производство.

Gerard Rubio и Rosanne van der Meer, соучредители компании Kniterate, разработали трикотаж, напечатанный на 3D-принтере [19]. В программе САПР

было разработано переплетение нитей, при помощи которого стало возможным запустить массовое производство 3D-трикотажных изделий.

Стоимость таких изделий, по итогам 2024 года, очень высокая. Yingying Cai в статье [20] описал влияние технологии 3D-печати на сферу дизайна одежды, в которой перечислил различные полимерные материалы для технологии 3D-печати, разработал технический маршрут проектирования одежды на основе 3D-печати, 3D-сканирования и 3D-моделирования. Автор исследовал следующие полимерные материалы: Wool blended F1, Wool blended (polar fleece) F2, Outer material F3, 3M New Shirley (G type) G40, 3M New Shirley (G type) G60, 3M New Shirley (G type) G80, 3M New Shirley (G type) G120, OPIS (uninflated) S1, OPIS (uninflated) S2. Исследования показали, что данные материалы могут адаптироваться к температуре окружающей среды и температуре тела человека, диапазон комфортной температуры составил $24,1 \sim 26,6^{\circ}\text{C}$. Автор также подчеркивает, что данные материалы еще не до конца могут создать комфортное состояние пододежного пространства и требуют доработок.

Sunghyun Kwon, Sungeun Kwon, Heeran Lee и Murali Subramaniyam исследовали тепло- и влагоперенос в зависимости от вида пластика. Исследования проводились с термопластичным полиуретаном и пеноэтиленвинилацетатом. Пластины с отверстиями из этих пластиков были напечатаны на 3D-принтере. Образцы из термопластичного полиуретана показали наибольшие показатели изменения температуры на $3,2 \sim 4,8^{\circ}\text{C}$, а образцы из пеноэтиленвинилацетата показали наименьшие изменения температуры от $0,1 \sim 2,0^{\circ}\text{C}$. Авторы указали на возможность использования термопластичного полиуретана для производства швейных изделий, так как он лучше адаптируется к температуре тела человека [21].

Ning Sun, Xichan Mu и Kaiming Zhao в своей статье предлагают рассмотреть 3D-печать одежды, как массовую кастомизацию. На примере образцов в масштабе авторы распечатывали на 3D-принтере образцы одежды, изучали точность печати и давление образцов на макеты тела в масштабе. Исследования авторов требуют дополнительного изучения полимерных материалов для 3D-печати, а также

возможностей 3D-принтеров в печати одежды в натуральную величину без дополнительного склеивания деталей [22, 23].

Canpan He в статье приводит результаты исследования материалов для 3D-печати одежды по следующим показателям: воздухопроницаемость, влагопроницаемость, стойкость к стирке, стойкость к истиранию. Автором определено, что воздухопроницаемость у круглых отверстий больше, чем у квадратных, в процессе стирки печатные 3D-элементы не изменяют своей формы, а жесткость объемных элементов напрямую зависит от количества слоев, что можно регулировать в процессе их производства. Соответственно автор проводит исследования свойств материалов для 3D-печати, чтобы в следующих работах разработать методику для печати одежды [24, 25].

Shuangqing Wu, Taotao Zeng, Zhenhua Liu, Guozhi Ma, Zhengyu Xiong, Lin Zuo и Zeyan Zhou в своей статье рассматривают возможность 3D-печати в легкой промышленности. Проанализированы технологии 3D-печати обуви [26], конструкций экзоскелета [27], гибких датчиков, которые могут измерять основные жизненные показатели [28], электронного текстиля с датчиками, который может нагреваться или охлаждаться в зависимости от температуры тела и окружающей среды [29, 30].

Viktorija Diak рассмотрела умные структуры, из которых изготавливают швейные изделия с различными датчиками, и проанализировала методы 3D-печати, которые могут быть использованы для производства одежды. Автор утверждает, что производить материалы с памятью формы возможно при помощи следующих технологий объемной печати: FDM (fused deposition modeling), SL (stereolithography), LPBF (laser powder bed fusion), DIW (direct ink writing), INKJET (ink jetting), AJP (aerosol jet printing), DED (direct energy deposition) [31]. Материалы с памятью формы возможно интегрировать в швейные изделия для медицинских целей, к примеру, в структуре материала установить датчики и капсулы с лекарством. Датчики будут контролировать общее состояние здоровья и высвобождать лекарство по необходимости [32]. Автор демонстрирует перспективу

развития умного текстиля в швейных изделиях и рассматривает альтернативу его производства при помощи 3D-принтера [33].

Синицына Е.И. и Ковалева О.В. на примере корсета женского продемонстрировали использование 3D-печати и 3D-сканирования в альтернативном производстве одежды. Корсет был напечатан на 3D-принтере из биоразлагаемого пластика PLA. Детали корсета повторяли контур фигуры и были дополнительно соединены между собой. Изготовленное изделие сковывает движения, в нем сложно двигаться. Корсет, изготовленный из пластика PLA требует доработок в области использования более гибких пластиков, а также поиска оборудования, которое позволит распечатать корсет целиком [34].

Сухова А.А., Сверчков С.М., Азанова А.А., Верховская А.С., Дубровина Т.В., Букашкина Е.А., рассматривают возможности 3D-печати одежды, сумок и аксессуаров. В работах представлены примеры создания корсета, напечатанного частями из пластика ABS, платье, напечатанное из пластика TPU, сумки, состоящие из отдельных модулей и аксессуары объемных форм [35-38].

Поляков Р.И. и Никонов В.В. предложили внедрить технологию 3D-печати из материала Flex в комбинезон женский. Лекала комбинезона женского имеют фигурные срезы и выступающие лямки; за счет конфигурации лекал при раскрое получались слишком большие выпады. Авторы предложили заменить лямки из ткани на лямки, напечатанные на 3D-принтере. Это позволило экономично выполнить раскладку и одновременно декорировать изделие [39].

Михайлов М.М. и Никитиных Е.И. описали разработку 3D-моделей для проектирования изделий текстильной и легкой промышленности. Авторы используют метод 3D-сканирования для получения высокоточных объектов, напечатанных на 3D-принтере [40].

Рассади́на С.П., Пугачёва И.Б и Короткова Ю.Н. рассмотрели применение аддитивных технологий при создании модульных авторских фактур в дизайне одежды. Авторы разработали пластины различных форм, которые могут быть соединены между собой или прикреплены на швейное изделие. 3D-моделирование и печать фактур позволяют кастомизировать модели посредством фактурных

решений, что дает возможность изготавливать швейные изделия с печатными элементами [41, 42].

Множество попыток в разработке изделий с применением объемной печати различными пластиками доказали, что необходимо усовершенствовать используемый материал, оборудование и технологии для запуска напечатанных на 3D-принтере изделий в массовое производство [43-45].

Проанализировав рынок современной технологии объемной печати сделан вывод, что его можно разделить на три основных сегмента: аппаратное обеспечение, программное обеспечение и услуги. Все эти три составляющие тесно связаны друг с другом. Аппаратное обеспечение позволяет подобрать для использования оборудование, необходимое для технологии объемной печати. Программное обеспечение направлено на создание продукта, который будет печатать 3D-принтер. Услуги предназначены для объединения аппаратного и программного обеспечения с целью получения конечного продукта.

Технология объемной печати состоит из последовательности действий и послойном наплавлении материала, в результате чего возможно изготовить желаемое изделие. Существует множество видов объемной печати и соответствующего оборудования, рассмотрим основные.

Технология объемной печати FDM (fused deposition modelling) – заключается в послойном наплавлении термопластиков [46]. Термопластики могут быть использованы производственного класса, отличающиеся по своим механическим, термическим и химическим свойствам. Данная технология позволяет печатать многокомпонентными пластиками, которые используются как удерживающая конструкция. Пластики, которые используют для печати удерживающих конструкций, могут полностью растворяться в воде или иметь термостойкую, но хрупкую структуру, чтобы после окончания печати их можно было отсоединить от объекта без повреждений. Изделия получаются прочными, износостойкими, рентабельными за счет минимальной стоимости материалов. На рисунке 1.2 представлен пример технологии объемной печати FDM. Данный принтер возможно использовать как в производственных, так и в домашних условиях.



Рисунок 1.2 – Технология объемной печати FDM [47], 3D-принтер Original Prusa i3 MK3S+ [48]

Технология объемной печати SLS (селективное лазерное спекание) – заключается в использовании лазера высокой мощности, который спекает небольшие частицы пластика, керамики, стекольной муки или металла в единую трехмерную структуру [49]. Разнообразные порошковые частицы должны быть покрыты полимером, так как после лазерного спекания изделие необходимо перенести в высокотемпературную печь, где полимерные частицы выпариваются, а их место занимает легкоплавкая бронза, которая присутствует в составе.

Технология SLS печати исключает использование дополнительных поддерживающих материалов. Спекание происходит в порошке, который выступает поддерживающей конструкцией. Скорость печати высокая, до 35мм/час. После печати поверхность модели имеет шероховатость, что требует дополнительной обработки [50].

Использование SLS принтера требует организации сложной структуры процесса печати (рис. 1.3), что может быть затруднительно выполнить в условиях швейного предприятия.

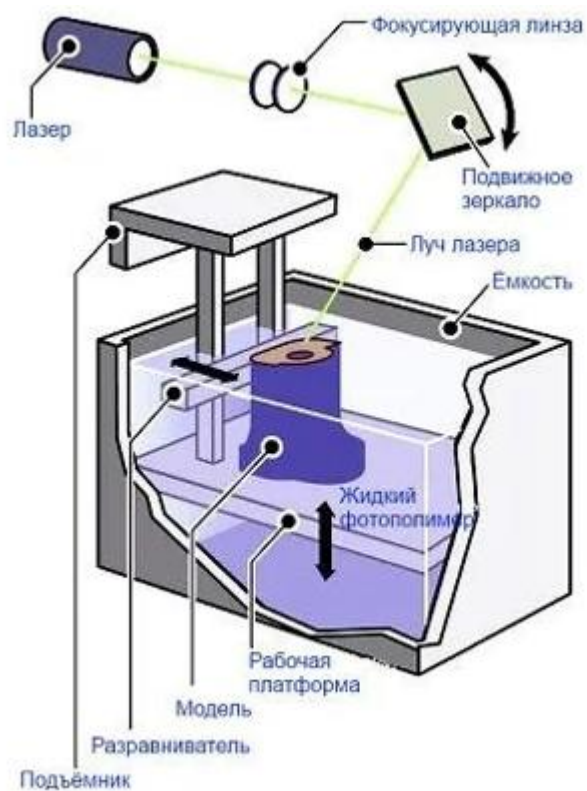


Рисунок 1.3 – Технология объемной печати SLS [51]

На рисунке 1.4 представлен принтер для технологии объемной печати SLS.



Рисунок 1.4 – Принтер для технологии объемной печати SLS [52]

Технология объемной печати DLP (цифровая обработка светом) – является аналогом технологии объемной печати SLS, при этом сцепление частиц происходит за счет облучения ультрафиолетовым светом, что вызывает затверждение фотополимерных смол [53].

DLP принтеры пошагово наплавляет целые слои из полимерной смолы, при необходимости следующего слое его также наплавляют целиком [54]. Данная технология нашла широкое применение в стоматологии, ювелирной промышленности, машиностроении, дизайне и производстве сувениров.

Преимущество технологии объемной печати DLP в высокой точности печати, возможности использования различных материалов, низкой стоимости используемых материалов. Скорость печати принято считать медленной. На рисунке 1.5 представлен пример объемной печати по технологии DLP. Недостатком технологии объемной печати DLP является необходимость строгого контроля температуры окружающей среды. Точность 3D-печати при помощи технологии DLP также зависит от качества используемого фотополимера и самого принтера [55].

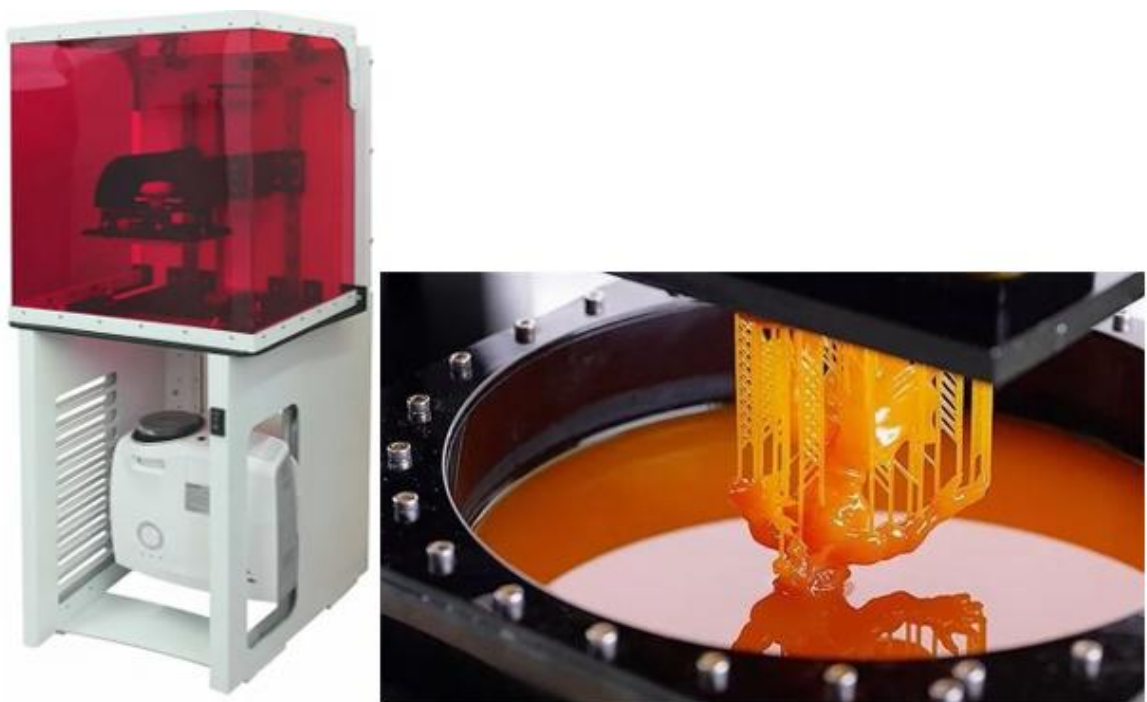


Рисунок 1.5 – Внешний вид принтера и распечатанной модели объемной печати DLP [56]

Технология объемной печати PolyJet – технология заключается в послойном отверждении жидкого фотополимерного материала под воздействием ультрафиолетового излучения [57]. Печатающая головка 3D-принтера наносит тонким слоем (16/30 мкм) фотополимер по заданной траектории объемной модели, затем каждый слой последовательно полимеризуется светом ультрафиолетовой лампы и наносится следующий слой [58]. После завершения процесса объемную модель можно сразу же использовать без дополнительной обработки. На рисунке 1.6 представлена технология объемной печати PolyJet.

Недостатком технологии объемной печати PolyJet является ограниченный выбор материалов, а существующие материалы по своим свойствам очень далеки от одежных и не могут быть использованы в производстве швейных изделий с объемными элементами из термопластика.

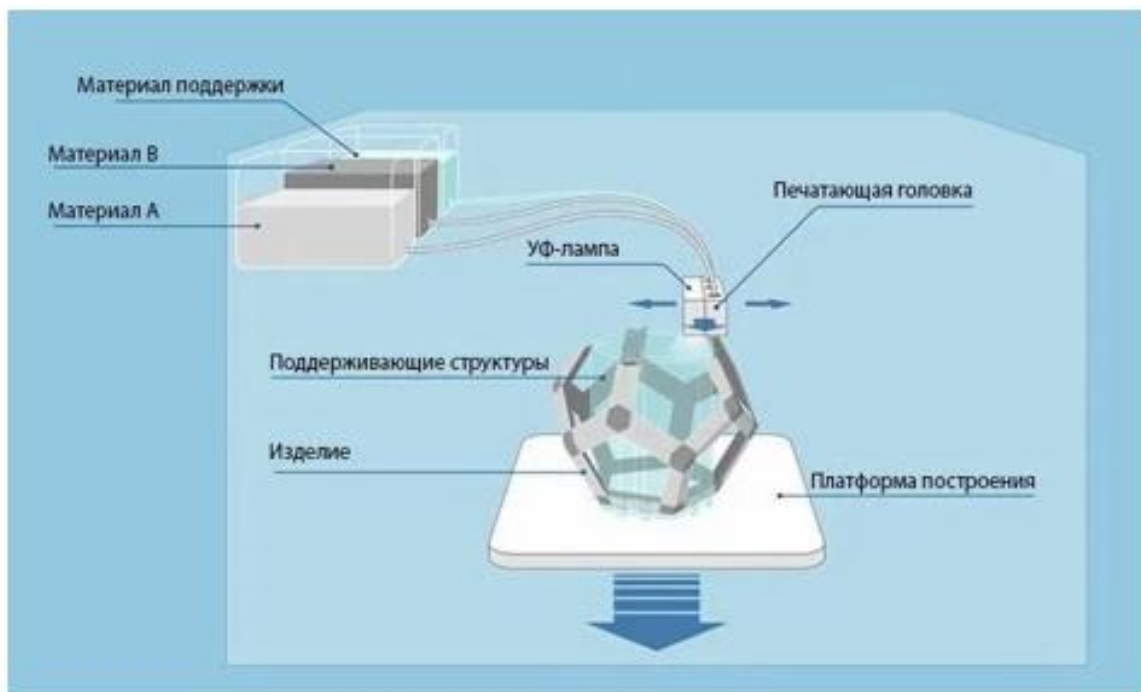


Рисунок 1.6 – Технология объемной печати PolyJet [59]

Технология объемной печати SLA (лазерная стереолитография) – заключается в послойном отверждении жидкого материала под действием луча лазера [60]. Особенности данной технологии в том, что рабочий стол должен быть погружен в

емкость с фотополимером. Лазерный луч должен пройти через фотополимер, таким образом первый слой твердеет, и платформа рабочего стола опускается вниз. Данная процедура будет повторяться слой за слоем, чтобы получить заданный образец. Фотополимеры будут затвердевать, затем объемную модель помещают в жидкость с водой для удаления лишних элементов. Чтобы фотополимер окончательно затвердел – его необходимо облучить светом [61].

Технология объемной печати SLA позволяет изготовить модели любой сложности и размера. Объемные детали имеют высокую точность, являются экономичными в производстве. Недостатком данной технологии являются возможные деформации под воздействием атмосферной влаги. Стержневую поддержку после выращивания деталей необходимо отделять механическим путем [62].

На рисунке 1.7 представлена технология объемной печати SLA.

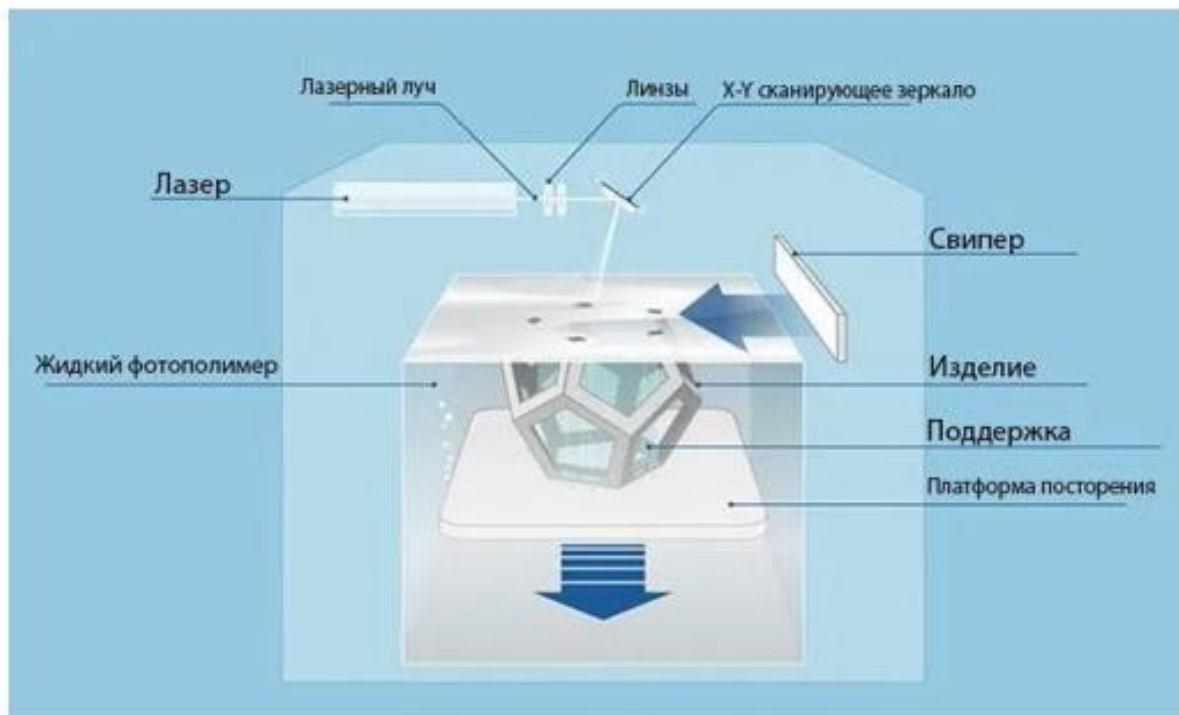


Рисунок 1.7 – Технология объемной печати SLA [63]

На рисунке 1.8 представлен принтер для технологии объемной печати SLA.



Рисунок 1.8 – Принтер для технологии объемной печати SLA [64]

Проведенный анализ показал, что наиболее востребованными для создания напечатанной на 3D-принтере одежды считаются следующие технологии: FDM – технология послойного наплавления филаментной нити, SLA – лазерная стереолитография, SLS – селективное лазерное спекание, MJM – многослойное моделирование, PolyJet.

Технология объемной печати FDM позволяет печатать объемные элементы на плоскости, при этом филамент укладывается послойно по заданному рисунку. Для изготовления одежды на 3D-принтере рекомендуется применять полимеры Flex (TPU и TPE) в зависимости от необходимого эффекта.

Дизайнер Айрис ван Херпен еще в 2010 году начала использовать 3D-печать в изделиях, чем провозгласила революцию в мире моде. Ее первое изделие, напечатанное на 3D-принтере, был белый топ «Кристаллизация», изготовленный из полиамида (рис. 1.9). Этот инновационный подход стал символом синтеза между искусством, технологиями и модой [65]. Белый топ «Кристаллизация» был напечатан на 3D-принтере частями при помощи технологии FDM печати, затем детали были соединены между собой.



Рисунок 1.9 – Напечатанный на 3D-принтере топ «Кристаллизация» Айрис ван Херпен 2010 год [66]

При помощи технологии объемной печати FDM модельер из Милана Кьяр Джусти в сотрудничестве с Superforma Fablab создали коллекцию одежды TECHNE (рис. 1.10) [67].



Рисунок 1.10 – Chiara Giusti, коллекция TECHNE, технология 3D-печати FDM [68]

Технология объемной печати SLA внедрила в производство одежды дизайнер Джулия Дэвий. Технология SLA позволила увеличить площадь печати, фактически сделать ее широкоформатной. За счет увеличения площади рабочей поверхности 3D-принтера удалось распечатать целую юбку, которую возможно стирать вручную, однако сушить ее необходимо в горизонтальном положении, а утюжить – совершенно запрещено. Аддитивные технологии позволили разработать эргономичный орнамент юбки. На рисунке 1.11 представлена юбка, которая напечатана на 3D-принтере, а также объемные декоративные детали в коллекции [69].

Технология объемной печати SLS заключается в селективном лазерном спекании. Для данной технологии используются, как правило, твердые пластики, которые служат жестким каркасом в конструкции одежды.



Рисунок 1.11 – Джулия Дэвий, коллекция одежды с использованием широкоформатной технологии 3D-печати SLA [70]

Еще одна технология 3D-печати, которая используется для производства одежды, – PolyJet. Технология объемной печати PolyJet позволяет выращивать объемные элементы по заданной форме. При помощи многоцветной и

многоматериальной машины Stratasys J750 была распечатана куртка с рисунком крыльев бабочек, которые во время движения щетины на куртке переходят в динамику и создают визуальный эффект (рис. 1.12) [71].



Рисунок 1.12 – Куртка Setae от Julia Korner, технология 3D-печати PolyJet [72]

По результатам анализа основных технологий и оборудования для выполнения объемной печати полимерными материалами сделан вывод, что с каждым годом увеличивается объем использования объемной печати при помощи 3D-принтеров, в том числе при производстве одежды. На рисунке 1.13 представлены статистические данные использования технологий и оборудования объемной печати в 2024 году, представленные РБК в статье «Анализ российского рынка 3D принтеров: итоги 2024 г., прогноз до 2026 г.» [73].

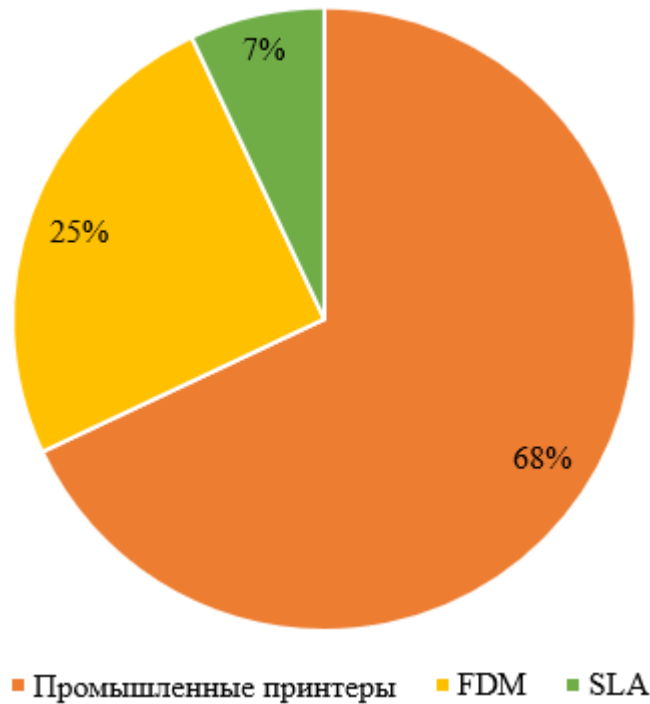


Рисунок 1.13 – Статистические данные использования технологий и оборудования объемной печати в 2024 году [73]

Промышленные принтеры занимают большую часть рынка – 68%, к ним относятся принтеры по печати домов, оборудования, железных деталей, машин и многого другого. Технология объемной печати FDM занимает 25% рынка, так как печать данным способом неприхотлива, 3D-принтеры легкие в использовании, ими можно пользоваться в домашних условиях. Технология объемной печати SLA занимает 7% рынка, она относится к промышленным технологиям, ее, как правило, используют в производственных масштабах.

В диссертационной работе разработка технологии изготовления швейных изделий с объемными элементами из термопластика будет выполнена при помощи технологии объемной печати FDM, так как 3D-принтеры, печатающие при помощи FDM технологии, работают с наиболее широким спектром инновационных материалов, филаментов, которые помогут сохранить комфортное состояние пододежного пространства. Стоимость 3D-принтера с технологией печати FDM в 2-3 раза ниже при соблюдении высокой точности. Разнообразие форматов, техник и методом технологии объемной печати FDM позволяют создавать объемные

элементы любой сложности и формы. Простота обслуживания и постобработки позволяют быстро устранять неполадки в процессе 3D-печати и не тратить дополнительное время на чистку изделий.

1.2 Анализ видов и свойств материалов для выполнения объемной печати

Эволюция производства тканей из синтетических волокон начинается с 1734 года. Французский ученый Реомюру изобрел синтетическую нить, аналогичную нити шелкопряда [74]. Это стало платформой для исследования и разработки альтернативных текстильных материалов с синтетическими примесями. В состав текстильного материала стали добавлять целлюлозу, стекловолокно, металл, волокна из нефтепродуктов, термопластики, полимеры, полиуретаны и многое другое.

С конца 19 века и до 40-50 гг. XX столетия способы производства синтетических материалов из растворов полимеров развивались и совершенствовались [75]. Однако, объемы производства синтетических материалов из растворов полимеров были незначительными.

За счет усовершенствования используемых материалов и оборудования с 1940 г. по 1970 г. разработан способ изготовления волокон из расплавов искусственных полимеров [76]. В натуральные волокна добавляют синтетические волокна в разной пропорции. Расширяется ассортимент материалов, в состав которого входят синтетические волокна. В эти года был разработан материал, полностью состоящий из синтетических волокон, который обладал комплексом новых свойств: прочность, модульность, термостойкость, устойчивость к открытому пламени, устойчивость к воздействию химикатов [77].

Натуральные материалы считаются наиболее востребованными и дорогостоящими во всем мире. Потребление одежды растет из года в год – это одна из причин добавления синтетических волокон в натуральные, чтобы была возможность обеспечить все потребности планеты.

В XXI веке существуют следующие материалы для изготовления одежды: самовосстанавливающиеся ткани, ткани с интегрированной электроникой, экологические ткани из вторсырья, ткани, изменяющие цвет, умные ткани для здоровья, ткани с антимикробными свойствами, 3D-печать на ткани [78].

Разработки новых одежных материалов, имеющие различный состав, не останавливаются и по сегодняшний день. Ученые разработали филамент, похожий на текстильный материал, который можно использовать для печати на 3D-принтере. Данный филамент проходит тестирование и еще не выпущен в массовое производство.

Уровень развития химической технологии увеличивается с каждым днем. Количество видов пластиков измеряется сотнями и тысячами. Это обусловлено большим числом производителей и разным сырьевым составом. Для технологии объемной печати FDM в работе рассмотрены основные виды пластиков, которые уже широко применяются в различных областях.

Для технологии объемной печати FDM нашли свое применение следующие пластики: акрилонитрилбутадиенстирол (ABS), полилактид (PLA), термопластичный полиуретан (TPU (FLEX)), NYLON, полипропилен (PP) [79]. Технология объемной печати FDM начала свое развитие с печати ABS пластиками.

ABS – синтетический ударопрочный материал, легкий в использовании. Обладает следующими характеристиками: химическая стойкостью, долгий срок эксплуатации, высокая термоустойчивость (от -40°C до $+80^{\circ}\text{C}$) [80]. Материал имеет большую усадку при неравномерном остывании, разрушается под воздействием УФ-излучения. Подходит для печати деталей, которые подвергаются высокой механической нагрузки, печати корпусов, труб, декоративных изделий.

PLA – биоразлагаемый термопластичный полиэфир, состоящий из молочной кислоты, сахарного тростника, картофеля и других компонентов. При использовании не выделяет вредных для здоровья человека запахов. Обладает следующими характеристиками: не имеет усадки, прочный, твердый, экологичный, нетоксичен, биоразлагаемый, хрупкий при температуре ниже -10°C , очень низкая

температура размягчения $+50^{\circ}\text{C}$ [81]. Подходит для печати точных геометрических крупногабаритных изделий, корпусов, декоративных изделий.

TPU (FLEX) – самый мягкий и пластичный пластик из представленных в настоящее время на рынке. Обладает следующими характеристиками: мягкий, гибкий, ударопрочный, жесткость варьируется от количества слоев, прочный на разрыв, износостойкий, стойким к маслам, щелочам, бензинам, слабым кислотам и погодным условиям, устойчив к естественному старению, допускает повторную переработку [82]. Используется для печати обуви, демпферов, колес, ремней, игрушек, эластичных структур.

NYLON – прочный синтетический пластик со скользкой поверхностью. Обладает следующими характеристиками: упругий, прозрачный, стойкий к истиранию за счет скользкой поверхности, долговечный, термостойкий до $+120^{\circ}\text{C}$, минимизирует адгезию, впитывает влагу из окружающей среды при печати, поэтому требует высокой скорости печати, обладает высокой усадкой [83]. Используется для печати механических деталей, который работают во время постоянных нагрузок, скольжения.

PP – прочный износостойкий материал. Обладает следующими характеристиками: высокая химическая стойкостью, высокая износостойкость, средняя эластичность, долговечность, нетоксичность, сложен в использовании в домашних условиях, обладает большой усадкой, хрупкий при отрицательных температурах [84]. Используется для печати функциональных деталей, который должны работать в закрытых помещениях.

Изучив основные прочностные характеристики пластиков, используемых для технологии объемной печати FDM, была составлена наглядная диаграмма их свойств, представленная на рисунке 1.14.

Рассматриваемые пластики, используемые в технологии объемной печати FDM, значительно отличаются по химическим свойствам и экологичности. Родоначальником пластиков для 3D-печати является ABS пластик. Безопасная температура эксплуатации пластика считается $+23^{\circ}\text{C}$. При воздействии на пластик температуры более $+23^{\circ}\text{C}$ и УФ-излучения, материал начинает выделять ядовитые

вещества – бутадиен, акрилонитрил, стирол [85]. Все эти вещества являются ядами и канцерогенами.

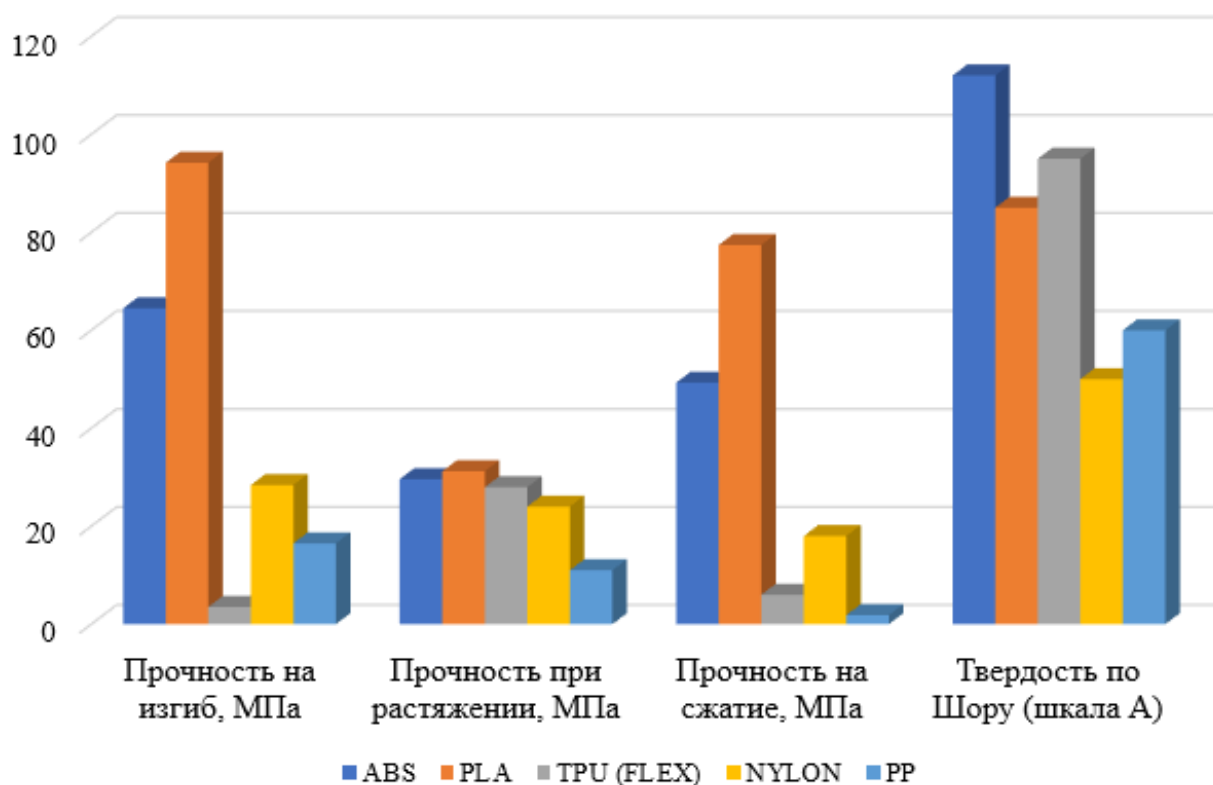


Рисунок 1.14 – Основные прочностные характеристики пластиков

PLA пластик – биоразлагаемый, биосовместимый, термопластичный, алифатический полиэфир, мономером которого является молочная кислота, изготовленный из возобновляемого ресурса, такого как кукуруза и сахарный тростник. Молочная кислота, которая входит в состав, является средой для роста различного рода микроорганизмов, в том числе паразитов, которые являются культурантагонистами человеческого организма. Срок годности такого пластика ограничен [86].

TPU (FLEX) пластик – гибкий, прочный, устойчив к износу, безопасен, так как не содержит вредных веществ и не выделяют токсичные испарения при нагревании [87].

NYLON – устойчив к высоким температурам, устойчив к УФ-излучению, вредные вещества могут выделяться при температуре свыше +300°C [88]. Пластик считается безопасным для человека.

Из PP пластика производят одноразовую посуду, а также емкости для упаковки йогуртов, сметаны, творожков [89]. Пластик считается безопасным для человека.

На основе анализа экологичности пластиков для жизнедеятельности человека выявлено, что пластики ABS и PLA категорически запрещено использовать в производстве швейных изделий.

Каждый из выше указанных пластиков имеет температурные характеристики плавления, размягчения, эксплуатации и плотности. Данные характеристики имеют важную роль в процессе производства и последующего соединения с текстильным материалом. В таблице 1.1 представлены температурные показатели для пластиков ABS, PLA, TPU (FLEX), NYLON, PP.

Таблица 1.1 – Температурные показатели пластиков

Наименование пластика	Температура плавления, °C	Температура размягчения, °C	Температура эксплуатации, °C	Плотность, $\Gamma/\text{см}^3$
ABS	210-240	100-110	-40 +90	1,02-1,06
PLA	170-180	50-60	-20 +40	1,2-1,4
TPU (FLEX)	210-260	100-110	-35 +110	1,15
NYLON	200-220	160	-20 +40	1,14
PP	130-160	140-160	-15 +140	0,92-0,93

Температура тела здорового человека составляет +36,6 °C, а в процессе производства и эксплуатации швейные изделия необходимо подвергать влажно-тепловой обработке, что следует учитывать при выборе пластика для использования его в производстве одежды. Так PLA и NYLON пластики имеют низкие температурные характеристики начала размягчения, что затруднит уход за готовыми изделиями, а также может привести к деформации пластиковых деталей при эксплуатации. Данные пластики не подходят для использования в швейных изделиях.

Таким образом, на основе анализа экологичности пластиков и температурных показателей не рекомендуется использовать пластики ABS, PLA и NYLON для производства швейных изделий.

Для создания комфортного состояния пододежного пространства, пластик должен быть гибким и пластичным. Из исследуемых пластиков наиболее гибким считается пластик TPU (FLEX), прочность на изгиб которого составляет 3,5 МПа, а прочность на сжатие – 6,0 МПа. Оценивая пластик PP органолептическим методом выявлено, что его гибкость в 2-3 раза меньше, чем у пластика TPU (FLEX). Прочность на изгиб пластика PP составляет 71,4 МПа, а прочность на сжатие – 108,7 МПа.

Учитывая изложенное сделан вывод, что из представленных в широкой продаже в настоящее время пластиков, наиболее гибкими считаются TPU (FLEX) и PP.

Дальнейшие исследования будут направлены на изучение характеристик пластиков TPU (FLEX), PP и схожих с ними. Для создания комфортного состояния пододежного пространства пластик должен быть мягким, гибким, износостойким, химически стойким и не подвергаться воздействиям окружающей среды.

1.3 Анализ применения 3D-печати в индустрии моды

Технологии объемной печати с каждым годом стремительно развиваются. Химический состав используемых материалов для технологии объемной печати по своим свойствам и характеристикам соответствует природному аналогу или является даже лучше. Прогресс дошел до печати органов и некоторых тканей. Совсем скоро технологии объемной печати позволят напечатать любой объект со свойствами лучше природных.

Технологии объемной печати активно применяются в производстве обуви, аксессуаров, фурнитуры, логотипов и многом другом. В 2015 году компания Adidas выпустила первые кроссовки, подошва которых была напечатана на 3D-принтере [90].

Российская компания RALF RINGER специализируется на производстве мужской, женской и детской обуви [90]. Компания столкнулась со сложностью изготовления подошвы, что вызвало решение оптимизации процесса в виде покупки 3D-принтера в 2017 году. Производство макетов подошвы снизило стоимость изготовления в 15-20 раз, а время изготовления сократилось до суток. Макеты подошвы обладали максимально возможной точностью в своих параметрах, тем самым сделали процесс более технологичным. Затем компания приступила к производству каблучков. В трехмерной среде, перед производством каблучка, задавались все необходимые параметры: материал, плотность заполнения, толщину стенок – что позволяло учесть все конструкторские и технологические особенности на этапе моделирования. Функциональная модель каблучка, распечатанная на 3D-принтере, позволяла проводить все необходимые примерки перед запуском в массовое производство.

Компания Dior на Неделе моды в Париже в 2023 году представила ботинки Derby, напечатанные на 3D-принтере [91]. Процесс создания ботинок начинался со сканирования кожаных ботинок Derby от Dior. Затем в трехмерной среде была разработана сетчатая структура, и объемные модели были переданы в печать. Процесс печати занял 12 часов. После ботинки подвергались чистке от полимерного порошка и установке функциональных элементов для шнуровки.

Процесс создания изделий с использованием технологий объемной печати – это инновационный процесс, который позволяет создавать сложные и уникальные модели, которые при помощи классических технологий создать невозможно. 3D-печать позволяет создавать изделия индивидуально под каждого заказчика, к примеру аксессуары, которые могут быть изготовлены из полимеров, дерева и драгоценных металлов.

Американская марка технологичных украшений Nervous System разработала коллекции аксессуаров из полимеров и драгоценных металлов [92]. Технология 3D-печати аксессуаров заключается в послойном наплавлении полимера или металла с последующим испарением связующих смол. На рисунке 1.15 представлена 3D-печать аксессуаров из драгоценных металлов.



Рисунок 1.15 – 3D-печать аксессуаров из драгоценных металлов [93]

Использование 3D-технологий в ювелирном деле позволяет оптимизировать производственные затраты. Во время изготовления аксессуаров из драгоценных металлов процесс согласования изделия с заказчиком выполняется при помощи печати реалистичного макета, что уменьшает трудоемкость изготовления. Затем на 3D-принтере могут быть изготовлены формы или напечатано изделие целиком [94]. Также напечатанные аксессуары могут быть пришиты на одежду.

Изготовление швейных изделий невозможно без использования фурнитуры. Фурнитуру различного дизайна и цвета также возможно распечатать на 3D-принтере. На рисунке 1.16 представлена фурнитура, напечатанная на 3D-принтере.



Рисунок 1.16 – Фурнитура, напечатанная на 3D-принтере [95]

Технологии, оборудование и используемые материалы позволяют распечатать различные предметы женского гардероба.

Дита фон Тиз в 2013 году привлекла внимание к технологии объемной печати, надев платье от дизайнеров Майкл Шмидт и Францис Битонти, напечатанное на 3D-принтере [96]. Это событие положило начало тенденции изготовления женской одежды, напечатанной на 3D-принтере при помощи инновационных материалов. Нейлоновое платье (рис. 1.17), напечатанное на 3D-принтере, состояло из 17-ти деталей, склеенных друг с другом.



Рисунок 1.17 – Дита фон Тиз в нейлоновом платье, напечатанном на 3D-принтере, 2013 год [97]

Платье было украшено стразами Swarovski. Несмотря на прорыв, в 2013 году в напечатанном на 3D-принтере платье было некомфортно передвигаться. Недостатком нейлонового платья Диты фон Тиз был процесс сборки и хрупкость материала.

Розенкранц и Луи-Розенберг разработали кинетическое платье из нейлонового порошка (рис. 1.18), изготовленное из цельного полотна,

напечатанного на 3D-принтере [98]. Основой нейлонового платья были органические формы и узоры. При движении элементы различной формы взаимодействовали между собой, создавая пространство для комфортного передвижения человека. Кинетическая одежда передвигается вместе с телом человека, не затрудняя движений.

Розенкранц и Луи-Розенберг разработали метод 4D-печати [100], который основывался на 3D-печати. Трехмерные объекты, состоящие из множества частей, можно было распечатывать целиком, впоследствии они могли изменять форму (рис. 1.19).



Рисунок 1.18 – Кинетическое платье, Розенкранц и Луи-Розенберг [99]

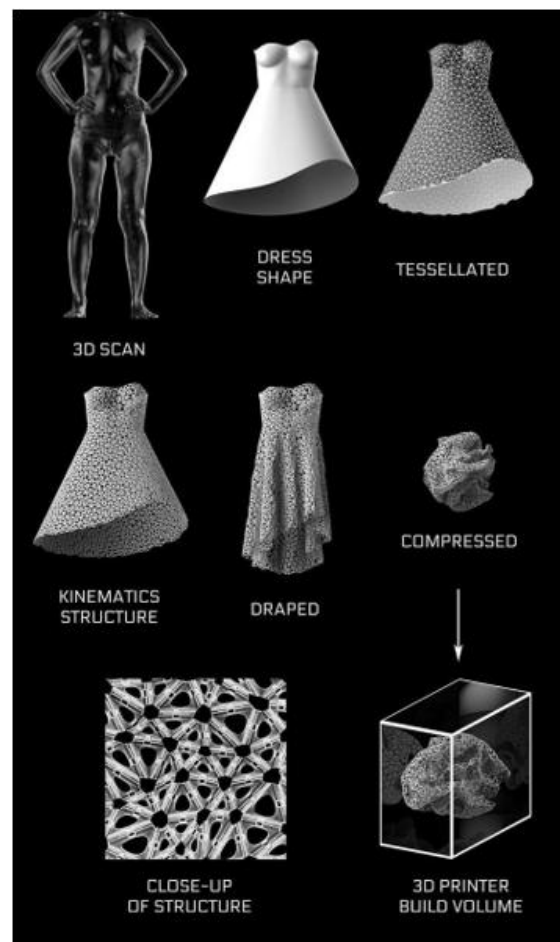


Рисунок 1.19 – Структура процесса создания кинематического платья [101]

Процесс создания кинематического платья начинается с 3D-сканирования тела заказчика. Далее создается литая конструкция в объемной среде. На литую конструкцию наносят линии, которые создают очертания мозаики и структуры, которую будет распечатывать 3D-принтер.

На следующем этапе разработки задаются параметры материала, его характеристики, и готовое кинематическое платье уже возможно увидеть на экране. Программное обеспечение позволяет придать реалистичность платью. Драпировка объемных элементов отражает их естественное положение в процессе эксплуатации изделия [102]. Особенность кинематического платья заключается в изготовлении его целиком. Программное обеспечение и применение инновационного метода 4D-печати позволяет перед печатью сложить структуру компактно. После объемной печати изделие разворачивают, и оно полностью готово к эксплуатации [103].

Кинематическое платье напечатано из нейлона при помощи технологии объемной печати SLS на 3D-принтере компании Shapeways [104]. Платье состоит из 2 279 треугольных панелей неправильной формы, которые соединены между собой 3 316 петлями. Процесс печати занимает два дня, а стоимость кинематического платья составила 3 000 \$. Дороговизна платья, длительность изготовления, используемое оборудование и материал для 3D-печати не позволили внедрить данную технологию в массовое производство. Нейлон в чистом виде не создает комфортное состояние пододежного пространства. Кинематическое платье, в рассмотренном случае, служит как аксессуар. Авторы продолжают работы по совершенствованию технологии объемной печати для запуска в массовое производство.

Данит Пелег, дизайнер из Израиля, создала коллекцию одежды, полностью напечатанной на 3D-принтере [105]. В печати одежды на 3D-принтере Данит использует три подхода: печать по известному рисунку (шаблонам), печать структуры для драпировки и печать деталей, которые можно соединить вместе (рис. 1.20).



Рисунок 1.20 – Три подхода в 3D-печати одежды Данит Пелег [106]

Для печати изделий используется полимерный филамент FilaFlex, который обладает гибкостью, пластичностью и прочностью. Печать выполняют частями, а затем склеивают их между собой. Трудоемкость и стоимость таких изделий достаточно высокая, однако Данит Пелег доказывает, что печатать одежду возможно даже в домашних условиях [107].

В 2023 году Айрис ван Херпен показала коллекцию Haute Couture осень-зима 2023-2024 г. [108]. В своих изделиях она использовала легкие материалы, такие как шёлк, органза, сетка, а также железные конструкции и полимерные материалы для 3D-печати. Изделия выглядели легкими, воздушными, несмотря на прочный каркас внутри (рис. 1.21).



Рисунок 1.21 – Платья, напечатанные на 3D-принтере, Айрис ван Херпен, 2023 г.
[109]

Айрис ван Херпен в своей коллекции Haute Couture осень-зима 2023-2024 г. распечатала на 3D-принтере не только платья, но и обувь.

Изделия высокой моды от дизайнеров Майкл Шмидт и Францис Битонти, Розенкранц и Луи-Розенберг, Данит Пелег и Айрис ван Херпен показывают возможность использования полимерных материалов и 3D-печати в легкой промышленности для индивидуального производства одежды.

На основании анализа модных тенденций применения 3D-печати в индустрии моды определены используемые в настоящее время методы изготовления женской одежды с применением печати на 3D-принтере. Платье Диты фон Тиз из нейлона изготовлено методом печати объемных элементов с последующим склеиванием деталей между собой. Розенкранц и Луи-Розенберг на примере кинематического платья применили кинематический подход к производству женской одежды, что позволило печатать изделия целиком. Данит Пелег в своих изделиях использовала

три метода изготовления: печать по известному рисунку (шаблонам), печать структур для драпировки и печать деталей, которые можно соединить вместе.

Вышеуказанные изделия, напечатанные на 3D-принтере, невозможно использовать для массового производства, поскольку все они состоят из частей, которые соединяют между собой вручную – это очень трудоемкий процесс. Некоторые используемые пластики имеют высокую жесткость, что является положительным для создания формы и отрицательным для создания комфорта в динамике.

Процесс создания изделий с использованием технологий объемной печати – это инновационный процесс, позволяющий создавать сложные и уникальные модели, которые при помощи классических технологий создать невозможно. 3D-печать дает возможность изготавливать изделия индивидуально для каждого заказчика с минимальными затратами и не нарушая структуру технологического процесса.

Технологии объемной печати объединяют в себе возможности 3D-сканирования фигуры, разработку изделий на индивидуальную фигуру и в соответствии с требованиями заказчика, моделирование и примерку изделий в трехмерной среде с заданными формами и текстурами используемых материалов, оценку свойств на этапе виртуального проектирования, что существенно экономит время и используемые материалы. Объемная печать – это практически безотходное производство. Однако в процессе производства изделий, напечатанных на 3D-принтере, инженер сталкивается с ограниченностью ассортимента используемых материалов, что затрудняет процесс массового производства.

По результатам оценки технологий, оборудования и пластиков, используемых в настоящее время мировыми дизайнерами для 3D-печати, сделан вывод, что все исследования и разработки направлены на создание полимерного материала, близкого по свойствам к одежным материалам.

Анализ предметов одежды, изготовленных методом 3D-печати, показали, что на данный момент невозможно распечатать изделие целиком. Изделия

изготавливают из отдельных деталей, которые соединяют различными методами. Причина этого заключается в специфике технологий 3D-печати:

- величина рабочей поверхности 3D-принтера ограничивает размер напечатанных изделий;
- современный ассортимент пластиков для 3D-печати, которые еще далеки по свойствам жесткости и драпируемости от одежных материалов, заставляет искать дополнительные способы обеспечения эргономичности конструкций, которые чаще всего достижимы при разбиении изделия на составные части.

Таким образом, существующий ассортимент материалов для 3D-печати является основным сдерживающим фактором развития технологии объемной печати и ее внедрения в швейную промышленность на данный момент. В период поиска новых материалов актуальным является направление комбинирования полимеров с текстильными материалами с целью обеспечения эргономики, комфортного состояния пододежного пространства и возможности длительной эксплуатации изделий.

1.4 Обоснование актуальности сочетания текстильных и объемных напечатанных на 3D-принтере деталей при производстве швейных изделий

Технологии объемной печати с каждым годом стремительно развиваются. Прогресс дошел до печати органов и некоторых тканей. Совсем скоро технологии объемной печати позволят напечатать любой объект со свойствами, подобными или даже превосходящими природные аналоги.

Швейные изделия с деталями, выполненными методом объемной печати на 3D-принтере, все чаще и чаще появляются в модных показах. Первое время изделия, напечатанные на 3D-принтере, невозможно было эксплуатировать, в них можно было стоять или ходить, а при более активной нагрузке, например приседании, они ломались и трескались. Инновационные более гибкие материалы частично решили проблему эксплуатации. Появляются подиумные вечерние

изделия, которые не разрушаются в процессе эксплуатации. В них комфортнее двигаться, чем было ранее. Однако на данном этапе развития материалов для 3D-печати производство изделий целиком из пластиков или полимеров не позволяет создавать изделия, отвечающие всему комплексу требований, предъявляемых к одежде. В связи с этим дизайнеры задумались о возможности комбинации текстильных и пластиковых деталей, создавая тем самым композитные изделия, сочетающие качества одежных материалов и визуальные эффекты 3D-печати.

Так при помощи технологии печати MJM возможно печатать полимерными материалами сразу на ткани. Модельер ThreeASFOUR совместно со Stratasys создали коллекцию Chro-Morpho, где была воплощена идея крыльев бабочек, которые переливались [110]. На рисунке 1.22 изображены платья, которые состоят из 27 деталей и множества напечатанных 3D-ячеек, которые переливаются под светом при каждом движении.



Рисунок 1.22 – ThreeASFOUR, коллекция Chro-Morpho, технология 3D-печати MJM [111]

Коллекции Айрис ван Херпен, напечатанные на 3D-принтере, из года в год становились носибельнее. Захватывающим акцентом на Неделе моды в Париже в 2022 году стало Вегетарианское платье из какао-бобов [112]. В технологии 3D-производства использовался органический биополимер, изготовленный из шелухи какао-бобов. Для печати объемных элементов с медным покрытием была использована технология SLS печати. На коричневую ткань были закреплены объемные элементы, напоминающие корни дерева (рис. 1.23).



Рисунок 1.23 – Вегетарианское платье из какао-бобов Айрис ван Херпен, коллекция 2022 г. [113]

В 2015 году Голландский дизайнер Анук Виппрехт создала платье, похожее на паука, которое реагирует на внешние раздражители при помощи датчиков. Платье состояло из 40 деталей, напечатанных на 3D-принтере и соединенных между собой 20 сервоприводами, а также нижнего платья из шелковой ткани. Датчики, расположенные внутри платья, измеряют пульс, следят за сердцебиением. В случае учащенного пульса, конструкция платья «Паука» (рис. 1.24) раскрывается и занимает оборонительную позицию [114].



Рисунок 1.24 – Умное платье «Паук» Анук Виппрехт, 2015 г. [115]

В 2020 году Анук Виппрехт создала платье, позволяющие соблюдать дистанцию. Конструкция платья состояла из механизма, напечатанного на 3D-принтере, а само платье является комбинацией текстильного материала и распечатанных пластиковых деталей и узлов. Идея создания платья – соблюдение социальной дистанции, связанной с пандемией COVID-19. Платье «Proximity Dress» (рис. 1.25) создает физический барьер, если человек находится на слишком близком расстоянии [116].

Дизайнеры Ganit Goldstein и Julia Koerner создали коллекцию одежды в 2020 году, используя технологию 3D-печати PolyJet. Технология 3D-печати PolyJet позволяет распечатать рисунок из полимера непосредственно на ткани. 3D-принтер от компании Stratasys работает по принципу наплавления любого по конфигурации рисунка. Разработка коллекции начинается с 3D-сканирования фигуры. Далее в трехмерной среде создается объемная фигура, которая участвует в процессе моделирования изделия. На полученные лекала точно наносится рисунок, устанавливается высота объемных элементов из полимера. Далее на 3D-принтере от компании Stratasys распечатывается рисунок из полимера на ткани [117]. 3D «Wearable» Kimono (рис. 1.26) состоит из 38 деталей, соединенных между собой.



Рисунок 1.25 – Платье «Proximity Dress» Анук Виппрехт, 2020 г. [118]



Рисунок 1.26 – 3D «Weareable» Kimono Ganit Goldstein и Julia Koerner, 2020 г., технология объемной печати PolyJet [119]

Попытку комбинировать полимерные материалы с текстильными осуществила дизайнер из Израиля Noa Raviv. Источником вдохновения для создания коллекции послужили полуразрушенные классические греческие скульптуры. 3D-печать для дизайнера послужила источником объединения аутентичности и цифровых технологий [120]. После создания 3D-объектов возникли сложности с 3D-печатью, так как сами конструкции не поддавались

правилам печати объектов на 3D-принтере. Ноа решила эту проблему печатая элементы частями с последующим склеиванием. В коллекции Hard Copy представлены изделия, где 3D-печать используется зонально в комбинации с текстильными материалами (рис. 1.27).



Рисунок 1.27 – Коллекция Hard Copy от дизайнера Noa Raviv, которая сочетает в себе зональную 3D-печать и текстильные материалы [121]

Приведенные примеры демонстрируют, что при правильно подобранном пластике, текстильном материале и методе их соединения – 3D-печать объемных элементов может быть скомбинирована с текстильными материалами или расположена зонально, в зависимости от цели автора.

Анализ использования технологий объемной печати в швейных изделиях определил ряд проблемных вопросов во время эксплуатации швейных изделий с использованием технологии объемной печати: хрупкость изделия, жёсткость используемого полимерного материала, ограниченность плоскости для печати объемных элементов, что приводит к необходимости склеивания деталей и

дополнительной трудоёмкости изготовления изделий. Большинство из проанализированных изделий не предназначены для повседневного использования.

В связи с этим, внедрение технологии 3D-печати в массовое производство одежды целесообразно осуществлять путем зонального расположения элементов из полимера, в частности термопластика, на поверхности одежды, что позволит придать новые эксплуатационные свойства швейным изделиям, расширить их ассортимент без частой сменяемости конструкций моделей на производстве.

Для разработки технологии изготовления швейных изделий с объемными элементами из термопластика необходимо:

- разработать дизайн объемных элементов для печати на 3D-принтере;
- исследовать образцы полимерных материалов в части возможности применения их в швейных изделиях;
- исследовать образцы текстильных материалов для процесса адгезии с объемными элементами из полимера;
- определить оптимальные параметры процесса адгезии объемного элемента из полимера и текстильного материала.

Выводы по главе 1

1. Проведен анализ технологий и оборудования для выполнения объемной печати полимерными материалами. Выявлено, что промышленные принтеры для печати домов, оборудования, железных деталей занимают 68% рынка. Технология объемной печати FDM занимает 25% рынка, так как печать данным способом неприхотлив, 3D-принтеры легкие в использовании, ими можно пользоваться в домашних условиях.

2. Анализ технологий и оборудования для выполнения объемной печати полимерными материалами показал, что для разработки швейного изделия с объемными элементами из термопластика, в большей степени, применима технология объемной печати FDM.

3. На основе анализа видов и свойств материалов для выполнения объемной печати определено, что для создания комфортного состояния пододежного пространства пластик должен быть мягкий, гибкий, износостойкий, химически стойким и устойчивым к воздействию окружающей среды.

4. Проведен анализ использования технологий объемной печати в швейных изделиях. Выявлено, что объемная печать широко используется не только в швейных изделиях, а также в обуви и медицине.

5. На основе анализа использования технологий объемной печати при производстве одежды определены причины, препятствующие массовому внедрению 3D-печати в производство швейных изделий:

- хрупкость изделия из полимеров;
- жёсткость используемого полимерного материала;
- ограниченность плоскости для печати объемных элементов, что приводит к необходимости дополнительного соединения деталей и большой трудоёмкости;
- изделия не предназначены для повседневного использования.

6. Обосновано, что существующие в настоящее время материалы для объемной печати не могут придать изделиям потребительских свойств, необходимых для использования в повседневной носке. В связи с этим, внедрение технологии объемной печати в массовое производство швейных изделий целесообразно осуществлять путем зонального нанесения объемной печати на детали кроя или применения отдельных элементов из термопластика, что позволит придать новые эксплуатационные свойства швейным изделиям, расширить их ассортимент и функциональность.

ГЛАВА 2. ИССЛЕДОВАНИЕ МАТЕРИАЛОВ И ТЕХНОЛОГИЙ АДДИТИВНОЙ ПЕЧАТИ

Аддитивные технологии (Additive Manufacturing) – метод создания трехмерных объектов, деталей или вещей путем послойного добавления материала: пластика, металла, бетона и, возможно, в будущем – человеческой ткани [122]. Трехмерные технологии используют для создания 3D-объектов при помощи 3D-принтеров. Использование аддитивных технологий в процессе производства изделий легкой промышленности позволяет сократить время производства, повысить качество выпускаемой продукции, формализовать процесс производства.

Процесс создания швейных изделий при помощи аддитивных технологий позволяет создать высокоточную модель в трехмерной среде, рассчитать необходимое количество используемых материалов, выявить и устранить дефекты на этапе проектирования и визуализации модели.

Технология объемной печати – это один из быстро развивающихся видов аддитивных технологий. 2D-объекты преобразовываются в 3D-объекты. С каждым годом аддитивные технологии находят свое применение в новых сферах и объектах, спектр используемых материалов расширяется, а 3D-принтеры позволяют печатать более сложные объекты и носибельные изделия. В процессе печати на 3D-принтере используются термопласты, фотополимеры, полиамиды и полиуретаны. Спектр используемых материалов постоянно расширяется, для введения в искусственные материалы натуральных, с целью придания им новых физико-механических свойств, обеспечивающих гибкость, драпируемость, повышение устойчивости к истиранию, на изгиб и др.

Однако, как было обосновано в первой главе, внедрение технологии изготовления швейных изделий с объемными элементами из термопластика в массовое производство требует дополнительного исследования полимерных материалов на предмет создания комфортного состояния пододежного пространства, а также исследования прочности и надежности соединения между

текстильными и полимерными материалами. С этой целью в диссертационном исследовании был проведен многофакторный эксперимент, результаты которого изложены в главах 2-4 данной работы.

Цель эксперимента: провести многофакторный анализ влияния различных параметров на качество производства швейных изделий с использованием полимерных элементов, изготовленных с помощью 3D-печати.

Факторы эксперимента:

1. Параметры 3D-печати (зависят от оборудования, а также используемого полимерного материала):

- температура печати (200-235°C);
- скорость печати (50-200 мм/час);
- толщина слоя (0,25 мм);
- процент поверхностного заполнения напечатанного элемента согласно выбранному рисунку.

2. Тип полимера (выбраны на основе анализа, изложенного в Главе 1):

- GF-Max (стеклонаполненный) PET-G;
- полипропилен PP+;
- EasyFlex TPU-A 95.

3. Геометрические параметры напечатанных элементов:

- толщина (0,25-3,0 мм);
- форма (плоская, объемная);
- размер.

4. Текстильный материал:

- волокнистый состав;
- поверхностная плотность;

5. Методы соединения напечатанного элемента с текстильным материалом:

- сшивание;
- адгезия;
- другие нешвейные методы.

В рамках диссертационного исследования в силу его ограниченности по времени и объему были рассмотрены только основные факторы, которые напрямую влияют на формирование потребительских свойств швейных изделий. В дальнейших исследованиях следует более детально рассмотреть влияние на жесткость и драпируемость поверхностного заполнения напечатанного элемента, возможность комбинации различных полимеров при послойной печати на 3D-принтере, печать разнотолщинных элементов переменной внутренней кривизны и другое.

План эксперимента:

1. Выбор образцов тканей и полимеров для эксперимента.
2. Подготовка 3D-моделей элементов для печати.
3. Настройка параметров 3D-принтера для печати образцов элементов с различными параметрами, в зависимости от характеристик полимера и 3D-принтера.
4. Печать образцов элементов из разных полимеров с различными параметрами.
5. Исследование свойств напечатанных элементов (прочность, гибкость, устойчивость к внешним воздействиям).
6. Исследование качества адгезии.
7. Анализ результатов эксперимента и определение оптимальных параметров для производства швейных изделий с использованием 3D-печати.
8. Создание швейных изделий с использованием напечатанных элементов и традиционных материалов.
9. Оценка качества готовых изделий.
10. Сопоставление материальных и временных затрат на изготовление швейных изделий, выполненных с использованием напечатанных элементов и традиционных материалов.

Наглядно структура многофакторного эксперимента представлена на рисунке 2.1.

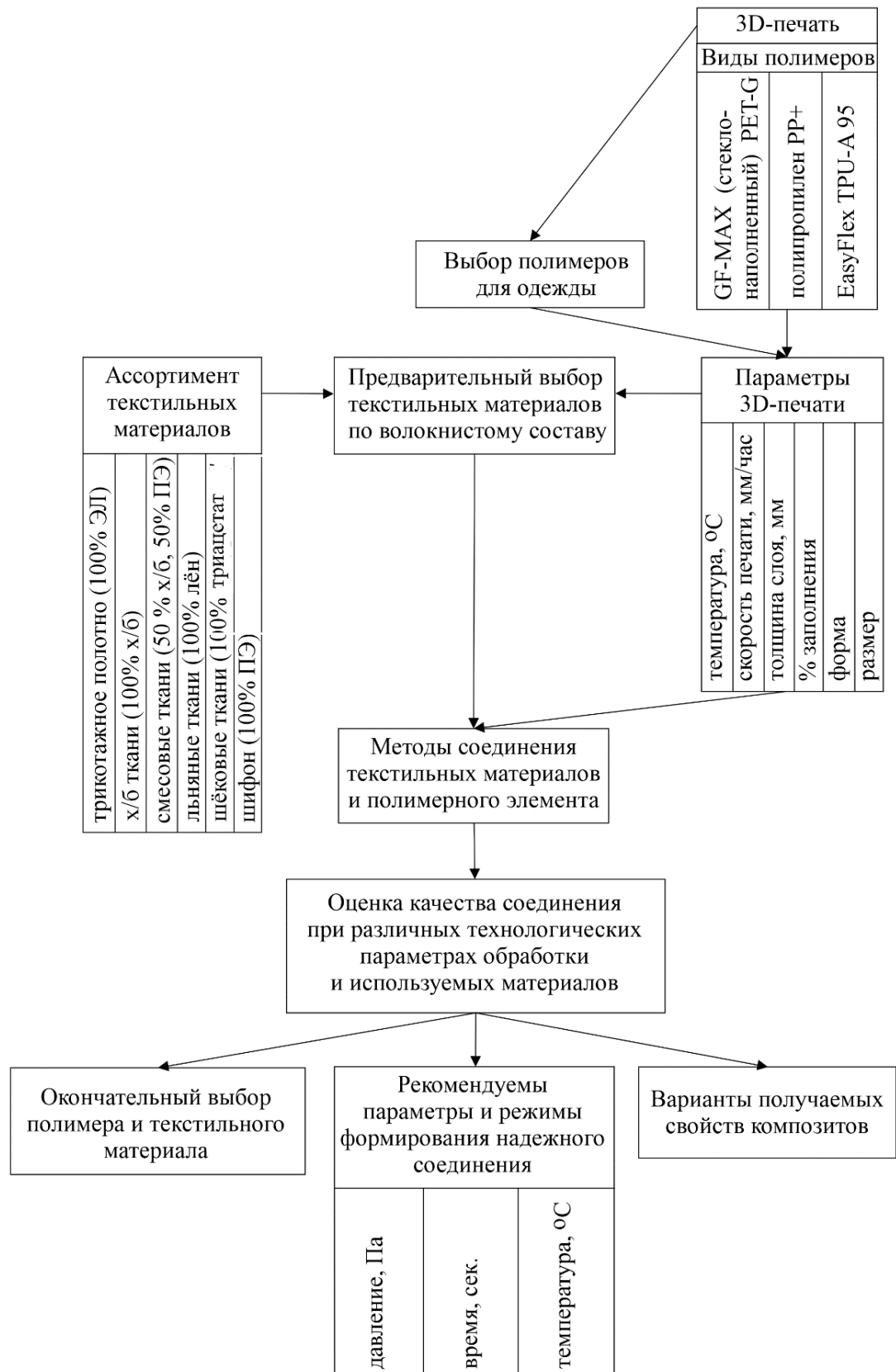


Рисунок 2.1 – Структура многофакторного эксперимента для внедрения технологии 3D-печати в производство швейных изделий

2.1 Разработка экспериментальных образцов с элементами объемной печати

Аддитивные технологии занимают ведущую нишу в производстве швейных изделий. Предприятия легкой промышленности активно используют различные программные обеспечения для оптимизации производственного процесса, понижения трудоемкости и повышения скорости выпускаемой продукции. Использование аддитивных технологий в конструировании и моделировании швейных изделий позволяет создать высокоточную модель изделия в трехмерной среде, рассчитать необходимое количество материалов, выявить дефекты на этапе конструирования и визуализировать ее [123].

При работе с любыми материалами в рамках массового производства первый этап проектирования подразумевает проработку дизайна изделия и его составных частей. В случае внедрения термопластика в производство швейных изделий имеется возможность производства абсолютно любых форм и дизайнерских решений трехмерных напечатанных деталей. В связи с этим на первом этапе исследования были рассмотрены варианты дизайна полимерных объемных экспериментальных образцов, получаемых методом 3D-печати из термопластика. Для этого были разработаны эскизы будущих объемных элементов (рис. 2.2). Создание эскиза объемных элементов осуществлялось путем применения основных графических средств композиции: точки, линии, штриха, пятна. При разработке эскизов использовалась комбинация линий с пятном. Орнаментальное решение объемных элементов выбрано геометрическое, разработано на основе результатов анализа предпочтений потребителей к геометрическим фигурам Елшанского С.П. [124].

Для того, чтобы выбрать один эскиз из разработанных для выполнения дальнейших практических исследований, был проведен анкетный опрос потенциальных потребителей, в котором приняли участие 100 женщин. Определено, что потребители имеют в своем гардеробе 30% одежды с геометрическим рисунком. В большей степени рисунок в одежде преобладает в блузах и платьях потребителей, которую они надевают несколько раз в месяц.

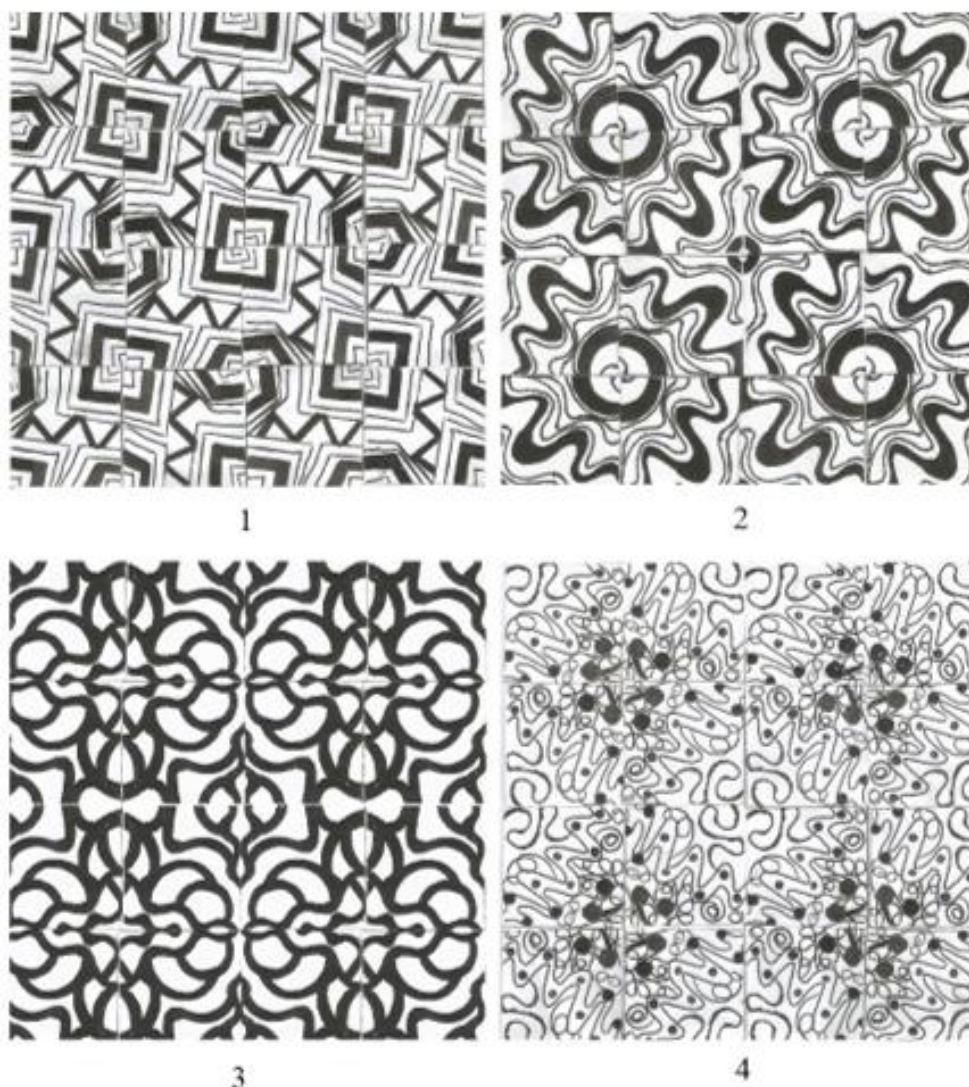


Рисунок 2.2 – Эскизы дизайна объемных элементов

Результаты выбора дизайна рисунка, который потенциальные потребители предпочитают видеть в одежде: 63% потребителей выбрали эскиз №3; 18% – эскиз №1; 12% – эскиз №2; 7% – эскиз №4. На основе анализа предпочтений потребителей за основу дизайна объемного элемента из термопластика для проведения дальнейших исследований взят эскиз № 3

Для создания объемного элемента из термопластика необходимо растровое изображение перевести в векторное. Этот процесс называется трассировкой. Трассировка изображения была выполнена в графическом редакторе CorelDRAW.

На следующем этапе исследования векторному объекту следует задать параметры, которые необходимы, чтобы изображение стало объемным. При

помощи программного обеспечения Autodesk Fusion 360 эскиз приобретает форму. Задается ширина и высота линий, направление, рапорт рисунка. Трехмерная среда позволяет задать все необходимые параметры и оценить результат работы под углом изображения в 360 ° на рабочем экране компьютера, что существенно ускоряет процесс производства и исключает дефекты, которые могут возникнуть в процессе производства.

Технологической особенностью аддитивных технологий 3D-печати является необходимость соблюдения ряда требований при задании параметров печати. Так каждая деталь орнамента объемного элемента должна иметь участки соприкосновения с другими деталями, поскольку объемный элемент печатается на плоской платформе и после окончания процесса изготовления необходимо снять его с рабочей поверхности стола, не нарушив при этом его целостность. Если детали элемента не будут между собой соединяться, то придется вручную выкладывать детали на материал, совмещая орнамент, что может привести к смещению рапорта рисунка, формированию разного расстояния между деталями объемного элемента и невозможности изготовить симметричные детали.

Минимальная толщина при печати объемного элемента равна 0,25 мм, что составляет толщину одного слоя термопластика – это требование к параметрам заявлено от производителей 3D-принтеров. Остальные технологические особенности аддитивных технологий 3D-печати были установлены в результате изготовления опытных образцов, для чего эскиз элемента был импортирован в формат STL для печати на 3D-принтере. Формат STL – это общепринятый международный формат, который читает 3D-принтер для создания правильной последовательности печати.

На рисунке 2.3 изображен процесс проектирования экспериментальных образцов элементов объемной печати.

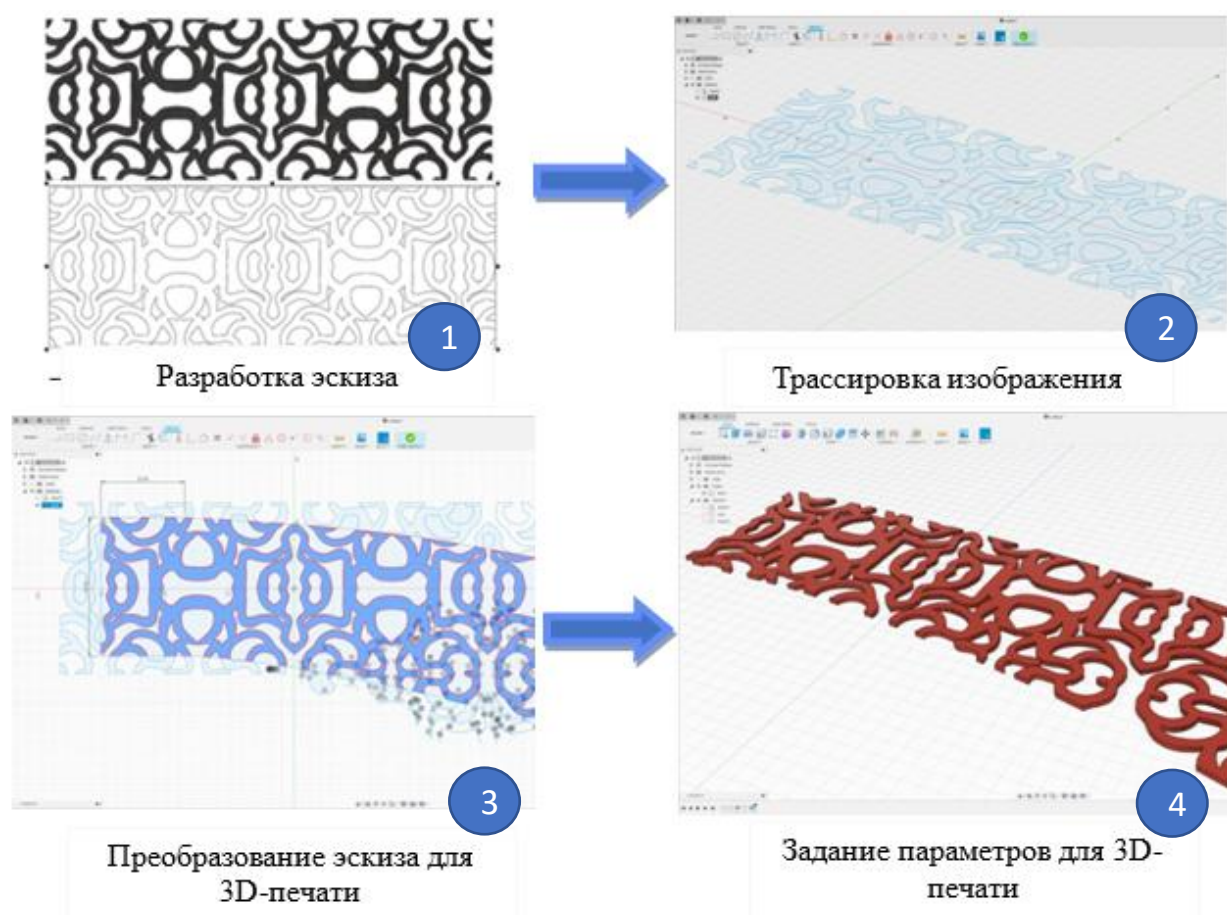


Рисунок 2.3 – Процесс проектирования экспериментальных образцов для объемной печати

Таким образом, обобщённо процесс проектирования объемного полимерного элемента состоит из следующих этапов:

- разработка эскиза 3D-элемента;
- преобразование эскиза в информационную модель, пригодную для печати на 3D-принтере;
- задание параметров 3D-элемента (цвет, толщина постоянная или переменная, размеры).

Применительно к конкретным моделям одежды, где будут использованы напечатанные полимерные элементы, обобщенный процесс проектирования должен дополняться этапом разработки конструктивного решения элемента.

На основе анализа технологий 3D-печати, как было обосновано выше (см. Глава 1), изготовление образцов 3D-элементов в работе выполнено при помощи технологии объемной печати FDM.

В результате исследования материалов для 3D-печати, выполненных в Главе 1, было определено, что наиболее гибкими из ныне существующих пластиков считаются TPU (FLEX) и PP, а также обосновано, что по своим свойствам и характеристикам, данные пластики подходят для создания комфортного состояния пододежного пространства. Прочностные характеристики на изгиб позволяют использовать указанные пластики для изготовления швейных изделий. Еще один пластик, свойства которого похожи с пластиком PP, является GF-Max (стеклонаполненный) PET-G.

По указанным причинам для исследования возможности внедрения технологии FDM печати в производство швейных изделий были выбраны следующие полимерные материалы: GF-Max (стеклонаполненный) PET-G, полипропилен PP+, EasyFlex TPU-A 95. При выполнении экспериментальных исследований напечатано по двенадцать образцов из каждого полимерного материала по разработанному эскизу, которые отличались толщиной. Процент поверхностного заполнения напечатанных элементов, согласно спроектированному рисунку, составил 57,87 %. Изготовленные образцы имели толщину от 0,25 до 3,00 мм, что соответствует 1-12 слоям 3D-печати. Минимальная толщина 0,25 мм – это толщина одного слоя, который печатает 3D-принтер. Максимальная толщина одежных материалов составляет 4,0 мм [125]. Однако, если изготовить напечатанный элемент из полимера такой толщины, то он будет в разы превосходить по жесткости одежные материалы. По этой причине в результате разведывательного эксперимента максимальной толщиной объемного элемента было принято значение 3,0 мм, такая толщина позволяет сохранять гибкость материала.

Первая субъективная оценка изготовленных методом 3D-печати образцов показала, что для всех трех полимеров жесткость, гибкость и растяжимость напечатанных элементов зависят от количества напечатанных слоев. Чем больше слоев 3D-печати имеет образец, тем выше жесткость, меньше гибкость и растяжимость.

В швейных изделиях использование полимера должно прежде всего обеспечивать комфортное состояние пододежного пространства. На данном этапе развития технологии и материалов 3D-печати обеспечить комфортное состояние человека при ношении изделий с объемными напечатанными элементами возможно лишь при условии их использования в пакете с текстильными материалами. В связи с этим встает задача обеспечения надежного соединения полимера и текстиля, которое не будет разрушаться или приводить к нарушению целостности полимера в процессе эксплуатации изделия, а также может быть внедрено в технологию производства швейных изделий с минимальными материальными затратами.

При проведении исследований сначала соединение объемных элементов из полимера с текстильным материалом было выполнено ниточными соединениями в соответствии с ГОСТ 12807-2003 [126]. В результате изготовлены образцы, объемные элементы которых настроены на текстильный материал при помощи двух видов стежков: двухниточный одноигольный прямой челночный и двухниточный одноигольный зигзагообразный челночный (рис. 2.4).

Ниточные соединения могут фиксировать объемные элементы из полимера только по заданному внешнему и/или внутреннему контуру, подобно тому, как выполняется настрачивание деталей аппликаций. При этом часть полимерного элемента останется незафиксированной. На рисунке 2.5 изображены участки незафиксированных на текстильный материал объемных элементов из полимера при выполнении соединения швейными методами по внешнему контуру. Аналогичные свободно расположенные незафиксированные участки, только меньшего размера, останутся, если выполнить настрачивание и по внутреннему контуру, что при этом значительно усложнит операцию соединения. Незафиксированные участки полимерного элемента могут стать причиной ускоренного истирания текстильного материала и самого полимера при эксплуатации изделия.



а

б

Рисунок 2.4 – Внешний вид образцов, в которых для соединения полимерного элемента с текстильным материалом использованы, где: а – двухниточный одноигольный прямой челночный стежок, б – двухниточный одноигольный зигзагообразный челночный стежок



а

б

Рисунок 2.5 – Пустоты у образцов настрачивания объемных элементов из полимера на текстильный материал, где: а – двухниточный одноигольный прямой челночный стежок, б – двухниточный одноигольный зигзагообразный челночный стежок

На примере изготовленных образцов выявлено, что при их изгибе жесткие края полимерного элемента отворачиваются и могут наносить механические повреждения коже, а также деформироваться в процессе эксплуатации. Во время динамики ниточные соединения будут перетираться и разрушаться вследствие большой разности между жесткостью нитей и полимера, а образованные отверстия от иглы в объемных элементах будут деформироваться и крошиться из-за неравномерно распределенной нагрузки.

В процессе изготовления образцов выявлено, что двухниточный одноигольный зигзагообразный челночный стежок требует постоянного подбора ширины стежка в зависимости от орнамента. Зигзагообразный челночный стежок очень сильно припосаживает текстильный материал. Настрачивание объемных элементов из полимера на текстильный материал при помощи ниточных соединений – очень трудоемкий процесс. Объемный элемент из полимера должен быть зафиксирован на ткани по всей площади для образования качественного соединения, которое не будет деформироваться и разрушаться в процессе эксплуатации.

Поскольку исследуемые материалы для 3D-печати – это термопластики, которые имеют относительно невысокую температуру размягчения, дальнейшие исследования были направлены на изучение возможностей соединения напечатанных элементов с текстильными материалами за счет повышенных температурных воздействий, т.е. термофиксации.

2.2 Исследование качества адгезии термопластичного полимера с различными текстильными материалами

Адгезия – способность одного материала приклеиваться и удерживаться на поверхности другого [127]. В результате адгезии получают композитный материал. Качество адгезии термопластичного полимера с различными текстильными материалами зависит от физико-механических свойств текстильного и полимерного материалов.

В статье Шаехова М.Ф., Сыроева В.А. и Сухих Е.А. описано изменение адгезионных свойств ABS пластика с тканью после модификации ВЧЕ (высокочастотного) разряда пониженного давления [128]. Процесс адгезии ABS пластика с тканью выполнен при помощи адгезива – клей Момент «Кристалл» на полиуретановой основе. Недостатком данного соединения является использование клея в швейных изделиях, который может проникать на изнаночную сторону ткани и раздражать тело, а также будет вымываться при стирке изделий. Химический состав клея не является стойким к химическим чисткам и механическим стиркам. Такое адгезионное соединения является непрочным, следовательно не подходит для использования в производстве швейных изделий.

Как известно, качество адгезии термопластичного полимера с различными текстильными материалами зависит от физико-механических свойств текстильного и полимерного материалов¹. С целью выявления оптимальных технологических параметров для формирования надежного адгезионного соединения текстильных материалов и полимерного элемента, напечатанного на 3D-принтере, были проведены исследования с использованием нескольких полимеров: GF-Max (стеклонаполненный) PET-G, полипропилен PP+, EasyFlex TPU-A 95. Для перечисленных полимеров исследования относительно применения в швейной промышленности не проводились ранее, данных не имеется в открытой печати.

При нагревании объемного элемента из термопластика адгезивом будет служить сам полимер, который проникает в пористую структуру текстильного материала, формируя прочное соединение [129, 130]. Для создания адгезионного соединения полимерного материала с текстильным было предложено использовать пресс, который активно применяют в классической технологии обработки швейных изделий для влажно-тепловой обработки. В результате прессования, под действием повышенной температуры и давления, гибкий полимер соединяется с текстильным материалом и формируется адгезионное соединение.

¹ Бузов Б.А. Материаловедение в производстве изделий легкой промышленности (швейное производство): учебник для студ. высш. учеб. заведений / Б.А. Бузов, Н.Д. Алыменкова; под ред. Б.А. Бузова. – 4-е изд., испр. – М.: Издательский центр «Академия», 2010. – 448 с.

Процесс прессования должен быть выполнен в оптимальных условиях лаборатории при температуре воздуха от 23°C до 25°C и относительной влажности воздуха от 40% до 60%, что предусмотрено инструкцией по охране труда при работе с 3D-принтерами [131]. Во время работы с полимерными материалами, в том числе последующей сборки швейного изделий, относительная влажность воздуха должна быть от 40% до 60%, в случае повышения влажности это может негативно сказаться на конечном результате [132].

Повышение влажности во время процесса прессования полимерного материала с текстильным может повлиять на процесс создания адгезионного соединения следующим образом [133]:

- Изменения свойств материала. Влага может привести к изменению физических и химических свойств полимеров, таких как плотность, прочность, вязкость и т. д., что может привести к ухудшению качества композитного материала;
- Образование дефектов. При работе с влажными полимерами могут образовываться дефекты, такие как пузыри, трещины и неоднородности в процессе адгезии. Это также может ухудшить качество продукта;
- Снижение производительности. Прессование с использованием дополнительной влаги может замедлить процесс производства и снизить производительность.

Температуры плавления полимеров, используемых в 3D-печати и отобранных для проведения эксперимента:

GF-Max (стеклонаполненный) PET-G — температура плавления находится в диапазоне 240–260 °C;

PP+ (полипропилен) — температура плавления около 130–160 °C;

EasyFlex TPU-A 95 — температура плавления составляет 210–260 °C.

При проведении эксперимента, а именно процесса прессования, указанные температурные диапазоны были учтены: для прессования выбирали температуру среднюю из диапазона.

Время прессования для получения адгезионного соединения определялось опытным путем. В ходе эксперимента было изготовлено по 5 образцов для каждого

вида полимера, отличающиеся временем прессования. Из полученных образцов отобрано по одному, обладающему лучшей степенью адгезии между тканью и полимером и не имеющему деформации полимерного элемента.

Проведенный разведывательный эксперимент показал, что физико-механические свойства композита, полученного в результате адгезионного соединения текстильного и полимерного материалов, остаются в рамках требований, предъявляемых к плательно-сорочечным тканям: жесткость ниже максимально допустимого значения $7\ 000\ \text{мкН} \times \text{см}^2$ [134, 135], гигиенические свойства изменены зонально, что допустимо при производстве одежды. По прочности и жесткости полученные композиционные материалы значительно превышают показатели исходного текстильного материала, что будет подробнее рассмотрено ниже в тексте главы.

На следующем этапе исследования проводилась оценка прочности адгезии термопластичных полимеров GF-Max (стеклонаполненный) PET-G, полипропилен PP⁺ и EasyFlex TPU-A 95 с текстильным материалом с целью определения полимерного материала, наиболее пригодного для внедрения в швейные изделия. Для изготовления первого пробного образца в качестве основного материала выбран лен, т.к. его температура плавления максимальная по сравнению с другими текстильными материалами. Элементы из трех выбранных полимеров были напечатаны на 3D-принтере согласно разработанной ранее виртуальной модели, толщина элементов составила 2,0мм.

Прочность адгезии ткани с покрытием регламентирует национальный стандарт Российской Федерации в соответствии с ГОСТ Р ИСО 2411-2014 [136]. Для определения прочности адгезии ткани с полимерным элементом (который в данном случае можно приравнять к покрытиям) методом расслаивания применялась разрывная машина РТ-250М-2. Использовалась шкала силоизмерителя А – 0-50 кГс (маятник без груза). Образцы для испытания состояли из полимерных объемных элементов, соединенных с тканью методом прессования. Все образцы взяты из пригодной для использования части ткани с покрытием (в соответствии с ИСО 2286-1) [137]. Были испытаны образцы шириной не менее 75

мм и длиной не менее 200 мм, выкроенные из ткани по основе и по утку, по пять штук каждого направления раскроя. Испытание проведено в оптимальных условиях в лаборатории при температуре воздуха от 23°C до 25°C и относительной влажности воздуха от 40% до 60%, что установлено в ИСО 2231 [138].

Подготовленные образцы для испытаний помещали в испытательную аппаратуру, закрепляя конец с покрытием в движущийся зажим, а текстильный материал – в неподвижный зажим (рис. 2.6).

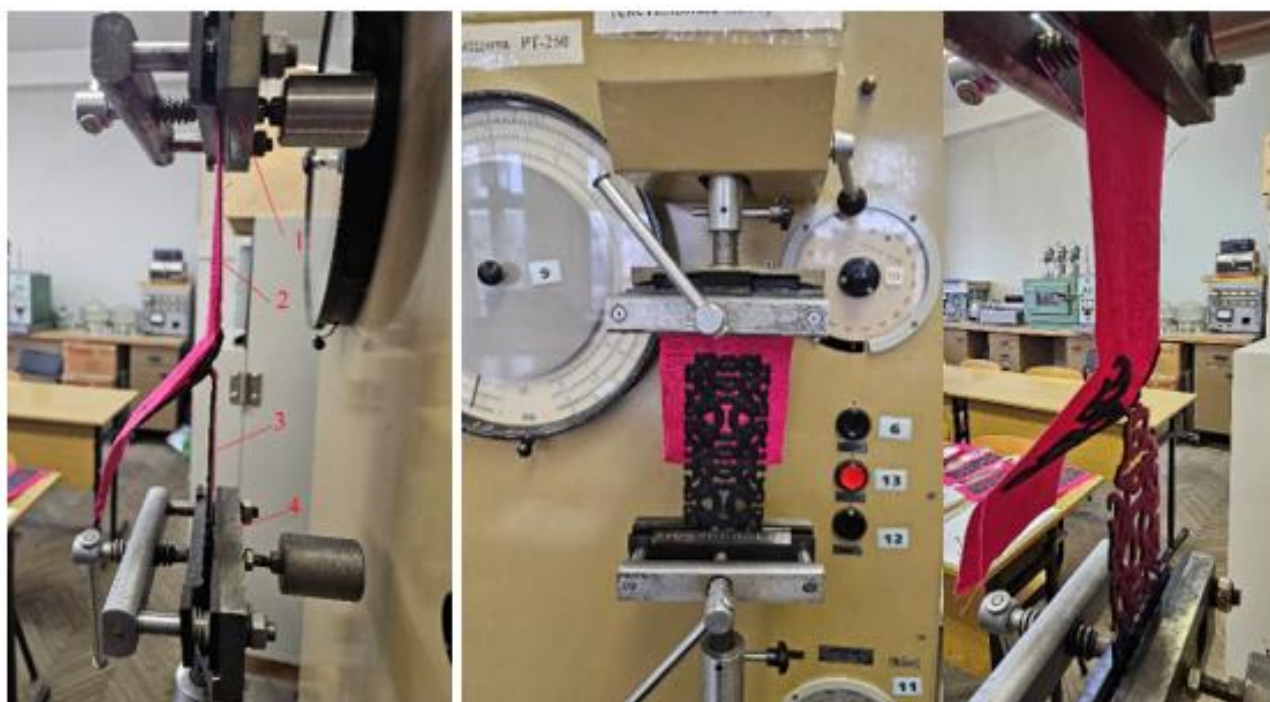


Рисунок 2.6 – Закрепление текстильного материала с полимерным элементом в разрывной машине РТ-250М-2, где: 1 – неподвижный зажим, 2 – текстильный материал, 3 – полимерное покрытие, 4 – подвижный зажим

Метод расслаивания позволяет измерить адгезионную нагрузку, при которой полимерный элемент начинает отделяться от текстильного материала. В таблице 2.1 представлены результаты исследования адгезионной нагрузки.

Таблица 2.1 – Результаты испытаний адгезионной нагрузки

№ пробы	Максимальная сила адгезии по основе, Н	№ пробы	Максимальная сила адгезии по утку, Н
GF-Max (стеклонаполненный) PET-G			
1	100	6	80
2	80	7	76
3	90	8	64
4	95	9	70
5	80	10	85
Среднее	89	Среднее	75
Полипропилен PP⁺			
11	125	16	100
12	100	17	115
13	120	18	95
14	130	19	99
15	120	20	100
Среднее	119	Среднее	101,8
EasyFlex TPU-A 95			
21	225	26	215
22	240	27	220
23	219	28	216
24	229	29	210
25	236	30	215
Среднее	229,8	Среднее	215,2

По результатам проведения испытания определено, что адгезионная нагрузка выше у образцов, выкроенных по основе, чем по утку, так как нити по основе сильнее натянуты и их линейная плотность выше. У образцов ткани с полимерным элементом из EasyFlex TPU-A 95 адгезионная нагрузка выше, чем у образцов ткани с элементами из GF-Max (стеклонаполненный) PET-G в 2,5 раза и выше, чем у образцов ткани с элементами из полипропилена PP⁺ в 1,9 раз. Таким образом наиболее высокие показатели адгезионной нагрузки имеют образцы ткани с полимерным элементом из EasyFlex TPU-A 95. Для создания прочного адгезионного соединения текстильного материала с полимерным элементом, которое не будет разрушаться в процессе эксплуатации изделия, определена целесообразность использования только полимера EasyFlex TPU-A 95.

Поскольку прочность адгезионного соединения зависит от физических и химических свойств как полимерного материала, так и текстильного, то на

следующем этапе исследования была поставлена задача выявления с какими текстильными материалами в результате прессования полимерный элемент, напечатанный на 3D-принтере с использованием филамента EasyFlex TPU-A 95, образует адгезионную связь более надежную и отвечающую эксплуатационным требованиям, предъявляемым к одежде.

Полимер EasyFlex TPU-A 95 имеет постоянные характеристики:

- плотность 1,15 г/см³;
- температура эксплуатации от -35°C до +100°C;
- температура экструдера от 215°C до 235°C;
- температура стола от 30°C до 60°C;
- предел прочности слоев 27,96 МПа;
- прочность на изгиб 3,5 МПа;
- максимальная нагрузка на сжатие 662 Н;
- прочность на сжатие 6,0 МПа;
- твердость по Шору (шкала А) 95 [74].

Полимерная нить EasyFlex TPU-A 95 (филамент) имеет диаметр 1,75 мм, который укладывается послойно при 3D-печати, толщина одного слоя при этом составляет 0,25 мм.

На основе постоянных характеристик полимерного материала для исследования качества адгезии выбраны следующие текстильные материалы: трикотажное полотно (100% эластан, температура плавления 230⁰С), хлопчатобумажные ткани различной плотности (100% хлопок, обугливается при температуре 250⁰С), смесовая ткань (50% хлопок, 50% полиэфир, температура плавления 260⁰С), льняная ткань (100% лён, температура воспламенения 250-300⁰С), шелковая ткань (100% триацетатный шёлк, температура плавления 300⁰С), шифон (100% полиэфир, температура плавления 250–260⁰С). Различные текстильные материалы подобраны близкие по температуре плавления к полимеру во избежание спекания текстильного материала при прессовании.

Для проведения эксперимента полимерные элементы были напечатаны по технологии объемной печати FDM полимером EasyFlex TPU-A 95, имели

орнаментальное решение, поверхностного заполнения 57,87%, постоянную толщину 2,0 мм. Суть эксперимента заключалась в определении параметров температуры, давления и времени прессования, при которых будет сформировано адгезионное соединение выбранных текстильных материалов с одинаковыми полимерными элементами, напечатанных на 3D-принтере.

Температура обработки на прессе подбиралась в зависимости от температуры плавления полимера и сырьевого состава ткани. В результате опытных испытаний на прессе определено, что при температуре пресса 240 °С объемный элемент из полимера сохраняет целостность границ, не деформируется и не растекается. Эта температура прессования подходит для всех выбранных образцов текстильных материалов.

Время прессования определялось по целостности орнамента объемного элемента из полимера после термопрессования, при этом должна была быть получена адгезионная связь полимера и текстильного материала по всей площади объемного элемента. Установлено, что при температуре пресса 240°С минимальное время для формирования адгезионного соединения составляет 15 сек.; увеличение времени более 40 секунд приводит к тому, что полимер проникает излишне глубоко и проявляется на изнаночной стороне текстильного материала.

Стойкую адгезию возможно получить под действием давления, температуры, продолжительности сжатия и нагревания [139, 140]. Опытным путем определено, что механическое давление в 7 Па позволяет изготовить качественные образцы композитных материалов, имеющих прочную адгезию, при этом орнамент объемных элементов сохраняет целостность и не деформируется. В случае уменьшения механического давления процесс адгезии не происходит, а в случае увеличения механического давления – объемный элемент теряет целостность и деформируется.

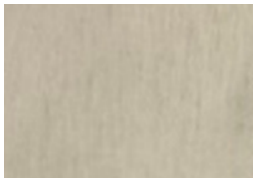
Выявленные технологические параметры приняты едиными для изготовления всех образцов: температура термообработки на прессе 240°С, механическое давление пресса 7 Па [141]. Для определения оптимального времени прессования необходимо проведение дальнейших исследований, описанных ниже,

при которых будут установлены факторы, влияющие на продолжительность прессования до получения надежной адгезии.

По результатам получения адгезионного соединения всех отобранных образцов текстильных материалов с полимерными элементами было выявлено (табл. 2.2):

- результат соединения трикотажного полотна (100% полиэстер), плотностью 150 г/м^2 с объемным элементом из полимера: соединение прочное, пластичное, объемный элемент из полимера отпечатался на изнаночной стороне, трикотажное полотно оплавилось по краям;
- результат соединения хлопчатобумажной ткани (100% хлопок), плотностью 100 г/м^2 с объемным элементом из полимера: соединение прочное, пластичное, объемный элемент из полимера отпечатался на изнаночной стороне ткани, ткань слишком тонкая для такого соединения;
- результат соединения хлопчатобумажной ткани (100% хлопок), плотностью 150 г/м^2 с объемным элементом из полимера: соединение прочное, пластичное, объемный элемент из полимера не отпечатался на изнаночной стороне ткани;
- результат соединения смесовой ткани (50% хлопок, 50% полиэфир), плотностью 220 г/м^2 с объемным элементом из полимера: соединение непрочное, пластичное, объемный элемент из полимера не отпечатался на изнаночной стороне ткани, однако плотность переплетения ткани не позволила создать прочное соединение, объемный элемент отслаивается;
- результат соединения льняной ткани (100% лён), плотностью 210 г/м^2 с объемным элементом из полимера: соединение прочное, пластичное, объемный элемент из полимера слегка отпечатался на изнаночной стороне ткани, так как ткань имеет рыхлое полотняное переплетение;
- результат соединения ткани из триацетатного шелка, плотностью 40 г/м^2 с объемным элементом из полимера: соединение прочное, пластичное, объемный элемент из полимера отпечатался на изнаночной стороне ткани и тактильно колется, материал слишком пластичен для такого прочного соединения;

Таблица 2.2 – Экспериментальные исследования процесса адгезии текстильного материала с полимерным элементом

Наименование текстильного материала	Лицевая сторона ткани	Изнаночная сторона ткани
Трикотажное полотно (100% полиэстер), плотность 150 г/м ²		
Хлопчатобумажная ткань (100% хлопок), плотность 100 г/м ²		
Хлопчатобумажная ткань (100% хлопок), плотность 150 г/м ²		
Смесовая ткань (50% хлопок, 50% п/а), плотность 220 г/м ²		
Льняная ткань (100% лён), плотность 210 г/м ²		
Триацетатный шелк, плотность 40 г/м ²		
Шифон (100% п/э), плотность 35 г/м ²		

– результат соединения шифона (100% п/э), плотностью 35 г/м² с объемным элементом из полимера: соединение прочное, пластичное, объемный элемент из полимера полностью отпечатался на изнаночной стороне ткани и тактильно колется.

На основе проведенного практического эксперимента наилучший результат процесса адгезии зафиксирован у льняной ткани (100% лён), плотностью 210 г/м² и 3D-элемента, напечатанного на 3D-принтере из полимера EasyFlex TPU-A 95. Данное адгезионное соединение выбрано в качестве *образца-эталона*.

2.3 Исследование влияния параметров текстильного материала и полимерного элемента на время прессования для образования надежного адгезионного соединения

Проведенные эксперименты показали, что время прессования до образования качественной адгезионной связи между текстильным и полимерным материалами зависит от свойств обоих материалов. Максимально точно можно определить время прессования опытным путем. Однако при этом следует учитывать параметры материалов, которые могут оказывать влияние на определение оптимального временного значения.

Волокнистый состав и структура текстильного материала оказывают влияние на характер проникновения расплавленного полимера в структуру текстиля. Так более плотные текстильные материалы могут требовать большего времени прессования для обеспечения полного контакта с полимерным элементом и, как следствие, надежного адгезионного соединения. В сумме волокнистый состав, вид переплетения и толщина текстильного материала могут оказывать влияние на время, необходимое для равномерного прогрева до поверхности, вступающей в контакт с полимером, что возможно оценить только опытным путем.

К свойствам полимерного элемента, влияние которых на время прессования следует оценить, относится температура плавления, вязкость, толщина полимерного элемента.

При проведении практических исследований, направленных на определение влияния параметров текстильного материала и полимерного элемента на время прессования до образования надежного адгезионного соединения, проведена оценка тех свойств материалов, которыми проще всего варьировать в процессе проектирования швейного изделия. Для остальных параметров время прессования следует определять опытным путем при изготовлении экспериментальных образцов.

2.3.1 Оценка влияния поверхностной плотности ткани на время прессования

В процессе прессования давление распределяется по поверхности соединяемых материалов. Как известно [142], текстильные материалы с большей поверхностной плотностью обеспечивают более равномерное распределение давления, что может способствовать более эффективному прессованию. Толщина текстильного материала в этом случае играет меньшую роль, так как давление распределяется по всей поверхности, а не только по толщине.

Льняные ткани, которые используют для пошива одежды, изготавливают различной плотности от 125 до 250 г/м². Более тонкий сорочечный лён (125-135 г/м²) используют для пошива легких сорочек, платьев, рубаш и т.д., средней плотности лён (165-180 г/м²) принято считать плательным, костюмный лён имеет плотность от 190 до 250 г/м². На назначение льняной ткани также влияют отделка и методы производства. При проведении практических исследований была выдвинута гипотеза, что плотность ткани напрямую влияет на время процесса адгезии до образования прочной связи полимера и текстильного материала.

Для подтверждения данной гипотезы проведен практический эксперимент с образцами льняной ткани полотняного переплетения различной плотности: 130 г/м², 150 г/м², 170 г/м², 210 г/м², к которым методом прессования присоединяли объемный элемент, при этом время прессования было задано от 15 до 40 секунд. Причина выбора такого промежутка в том, что проведенные до этого эксперименты показали, что при прессовании меньше 15 секунд адгезионное соединение не успевает сформироваться, а при увеличении времени более 40 секунд – полимер проявляется на изнаночной стороне ткани.

В таблице 2.3 представлены результаты экспериментальных исследований влияния плотности ткани на времена прессования, необходимое для получения качественного адгезионного соединения объемных полимерных элементов с льняными тканями, что подразумевает прочное соединение при отсутствии видимых дефектов полимерного элемента и излишнего проникновения расплавленного полимера сквозь ткань. Прочность соединения определяли визуально, проверяя на наличие трещин, отслоений или других дефектов на поверхности соединения, а также путем расслаивания вручную.

Таблица 2.3 – Экспериментальные исследования адгезии льняной ткани различной плотности с полимерным элементом

№ п/п	Плотность льняной ткани, $\Gamma/\text{м}^2$	Время дублирования, сек.	Комментарии
1	2	3	4
1	130	40	Объемный элемент проникает на изнаночную сторону. Нарушается целостность ткани
2	130	30	Объемный элемент на 30% проникает на изнаночную сторону ткани
3	130	20	Прочное адгезионное соединение
4	130	15	Соединение не прочное
5	150	40	Объемный элемент на 30% проникает на изнаночную сторону ткани
6	150	30	Прочное адгезионное соединение
7	150	20	Края объемных элементов отворачиваются
8	150	15	Соединение не прочное
9	170	40	Объемный элемент на 15% проникает на изнаночную сторону ткани
10	170	30	Прочное адгезионное соединение
11	170	20	Края объемных элементов отворачиваются
12	170	15	Соединение не прочное
13	210	40	Прочное адгезионное соединение
14	210	30	Объемный элемент на 80% фиксируется на ткани
15	210	20	Объемный элемент на 50% фиксируется на ткани, наблюдаются пустоты
16	210	15	Соединение не прочное

На основе полученных данных выявлены рекомендуемые временные интервалы для процесса адгезии льняной ткани различной плотности с полимером:

- плотность льняной ткани 130 г/м^2 – время дублирования 20 сек.;
- плотность льняной ткани 150 г/м^2 – время дублирования 30 сек.;
- плотность льняной ткани 170 г/м^2 – время дублирования 30 сек.;
- плотность льняной ткани 210 г/м^2 – время дублирования 40 сек.

На следующем этапе исследования стояла задача определения прочности адгезии при различной плотности льняной ткани. Исследование проводилось на образцах, отобранных в предыдущем эксперименте, как имеющих прочное адгезионное соединение (см. табл.2.3) – это образцы под номерами 3, 6, 10 и 13. Исследование выполнено методом расслаивания при помощи разрывной машины РТ-250М-2, по методике, описанной выше.

Образцы для испытания состояли из объемных элементов из полимера, соединенных с льняной тканью полотняного переплетения различной плотности методом прессования. Были испытаны образцы шириной не менее 75 мм и длиной не менее 200 мм, выкроенные из ткани по основе и по утку, по пять штук каждого направления раскроя. Испытание проведено в оптимальных условиях в лаборатории при температуре воздуха $23,5^\circ\text{C}$ и относительной влажности воздуха 83%. В таблице 2.4 представлены результаты исследования адгезионной нагрузки при различной плотности льняной ткани.

По результатам проведения испытания определено, что адгезионная нагрузка выше у образцов, выкроенных по основе, чем по утку, так как нити по основе сильнее натянуты и их линейная плотность выше. Определено, что адгезионная нагрузка у льняной ткани плотностью в 130 г/м^2 в 1,17 раз меньше, чем у льняной ткани плотностью в 150 г/м^2 , адгезионная нагрузка у льняной ткани плотностью в 150 г/м^2 в 1,14 раз меньше, чем у льняной ткани плотностью в 170 г/м^2 , адгезионная нагрузка у льняной ткани плотностью в 170 г/м^2 в 1,15 раз меньше, чем у льняной ткани плотностью в 210 г/м^2 . Таким образом установлена зависимость, что чем больше плотность ткани, тем выше адгезионная нагрузка.

Таблица 2.4 – Результаты испытаний адгезионной нагрузки при различной плотности льняной ткани

№ пробы	Максимальная сила адгезии по основе, Н	№ пробы	Максимальная сила адгезии по утку, Н
Плотность льняной ткани 130 г/м²			
1	143	6	137
2	152	7	141
3	142	8	129
4	148	9	130
5	149	10	136
Среднее	146,8	Среднее	134,6
Плотность льняной ткани 150 г/м²			
11	165	16	158
12	174	17	160
13	162	18	149
14	170	19	150
15	172	20	158
Среднее	168,6	Среднее	155
Плотность льняной ткани 170 г/м²			
21	188	26	179
22	198	27	184
23	184	28	169
24	193	29	171
25	195	30	167
Среднее	191,6	Среднее	174
Плотность льняной ткани 210 г/м²			
31	220	36	210
32	232	37	216
33	216	38	198
34	226	39	200
35	229	40	210
Среднее	224,6	Среднее	206,8

Дальнейшие исследования были проведены с льняной тканью (100% лён) плотностью 210 г/м², так как она показала лучшие результаты адгезионного соединения и имеет широкий ассортимент применения.

2.3.2 Оценка влияния толщины полимерного элемента на время прессования

Аддитивные технологии позволяют изготавливать объемные элементы различной толщины. В случае с полимером EasyFlex TPU-A 95 его нить имеет диаметр 1,75 мм, печать выполняется послойно, толщина одного слоя после 3D-печати составляет 0,25 мм. Как было описано выше, для выбранного полимера толщина объемного элемента должна быть в пределах от 0,25 мм до 3,00 мм и укладываться послойной не менее одного и не более 12 напечатанных слоев, что в свою очередь повышает зональную жесткость деталей на величины от 15% до 30%. Дальнейшее исследование направлено на определение зависимости времени прессования до образования надежного адгезионного соединения от толщины полимерного элемента.

Для исследования были изготовлены образцы 3D-элементов из полимера EasyFlex TPU-A 95 толщиной от 0,25 мм до 3,0 мм, с шагом 0,25 мм. Процесс адгезии льняной ткани (100% лён, плотностью 210 г/м²) и 3D-элемента из полимера был выполнен при помощи пресса, имеющего равномерную постоянную температуру 240°C и постоянное механическое давление в 7 Па. На рисунках 2.7 и 2.8 продемонстрирован внешний вид полученных экспериментальных образцов.



Рисунок 2.7 – Внешний вид экспериментальных образцов с полимерными элементами толщиной от 0,25 мм до 0,75 мм



Рисунок 2.8 – Внешний вид экспериментальных образцов с полимерными элементами толщиной от 1,0 мм до 3,0 мм

В таблице 2.5 представлены результаты проведенного исследования технологических параметров соединения льняной ткани с объемными элементами из полимера EasyFlex TPU-A 95 с учетом толщин и режимов обработки.

Таблица 2.5 – Характеристики и технологические параметры соединения ткани (100% лён, плотностью 210 г/м²) с объемными элементами из полимера EasyFlex TPU-A 95 с учетом толщин и режимов обработки

№	Толщина 3D-элемента из полимера, мм	Время прессования, сек.	Размер текстильного образца			
			до соединения с 3D-элементом из полимера, см		после соединения с 3D-элементом из полимера, см	
			по основе	по утку	по основе	по утку
1	0,25	15	15,00	15,00	15,00	15,00
2	0,50	15	15,00	15,00	14,90	15,00
3	0,50	30	15,00	15,00	15,00	15,00
4	0,75	30	15,00	15,00	15,00	15,00
5	0,75	40	15,00	15,00	14,90	15,00
6	1,00	40	15,00	15,00	14,90	15,00
7	1,25	40	15,00	15,00	14,90	15,00
8	1,50	40	15,00	15,00	14,90	14,90
9	1,75	40	15,00	15,00	15,00	15,00
10	2,00	40	15,00	15,00	15,00	15,00
11	2,25	40	15,00	15,00	14,80	15,00
12	2,50	40	15,00	15,00	15,00	15,00
13	2,75	40	15,00	15,00	15,00	15,00
14	2,75	30	15,00	15,00	15,00	15,00
15	3,00	40	15,00	15,00	14,90	15,00
16	3,00	30	15,00	15,00	15,00	15,00

На основе проведенного эксперимента определено оптимальное с точки зрения технологичности и соответствия эталонному образцу по качеству адгезии время процесса прессования в зависимости от толщины 3D-элемента [143]:

1. Толщина 3D-элемента из полимера EasyFlex TPU-A 95 составляет 0,25 мм – время прессования 15 сек.
2. Толщина 3D-элемента из полимера EasyFlex TPU-A 95 от 0,5 мм до 0,75 мм – время прессования 30 сек.
3. Толщина 3D-элемента из полимера EasyFlex TPU-A 95 от 1,0 мм до 3,0 мм – время прессования 40 сек.

Из приведенных рекомендации видно, что время воздействия при прессовании до образования качественной адгезии напрямую зависит от толщины полимерного элемента. Таким образом, при подборе оптимального времени прессования для успешного внедрения полимерных напечатанных элементов в производства швейных изделий следует учитывать как поверхностную плотность текстильного материала, так и толщину полимерного элемента.

Воздействие температуры на процесс адгезии текстильного материала с полимерным может привести к изменениям параметров соединения (усадка). Экспериментальным путем выявлено, что 9 образцов из 16 не изменили свои параметры. Вследствие чего был сделан вывод, что процесс адгезии при правильно подобранных толщинах текстильного и полимерного материалов, а также времени прессования, не приводит к усадке текстильного материала.

Результаты проведенных исследований свойств полимерных элементов, напечатанных на 3D-принтере, возможности их соединения способом прессования с текстильными материалами, а также качества адгезии объемных элементов из термопластика различной толщины с текстильным материалом, необходимы для разработки технологии соединения текстильного материала и элементов из термопластичного полимера при помощи прессов.

2.4 Определение влияния толщины полимерного элемента на свойства получаемого композиционного материала

Разработка экспериментальных образцов наглядно показала, что соединение полимерного элемента с текстильным материалом значительно повышает жесткость, что при внедрении в производство швейных изделий нельзя оставить без внимания. При этом сомнения не вызывает, что именно толщина полимерного элемента напрямую влияет на жесткость получаемого композиционного материала. В связи с этим проведено исследование жесткости на изгиб изготовленных образцов.

Жесткость при изгибе – это способность материала сопротивляться изменению формы при действии внешней изгибающей силы [140]. Определение жесткости материала при изгибе регламентирует ГОСТ 10550-93 [144]. Для определения жесткости материала при изгибе применен метод кольца, при помощи которого можно определить жесткость материала при принудительном прогибе согнутого в кольцо материала на $1/3$ диаметра. Пробная полоска текстильного материала с объемным элементом из полимера EasyFlex TPU-A 95 закреплялась в зажиме с образованием кольца диаметром 30мм. Затем к кольцу прислонялась прижимная пластина, на которую падали металлические шарики. При прогибе кольца на $1/3$ диаметра измерялась нагрузка P , которая характеризует жесткость материала при изгибе по формуле:

$$P = m \cdot g = K_b \quad (2.1),$$

где m – масса груза, действующего на пробную полоску; g – коэффициент свободного падения (10 м/с^2); K_b – коэффициент жесткости.

Полученные по результатам проведенного испытания средние значения нагрузки, которая характеризует жесткость материала при прогибе, для композиционных образцов с различными по толщине полимерными элементами представлены в таблице 2.6.

Таблица 2.6 – Прочностные характеристики, характеризующие жесткость при прогибе образцов текстильных материалов с объемными элементами из полимера

№ п/п	Толщина слоя объемного элемента, мм	Масса груза, кг	Нагрузка (коэффициент жесткости материала при прогибе), Н
1	0,25	0,009	0,09
2	0,5	0,043	0,43
3	0,75	0,064	0,64
4	1,0	0,104	1,04
5	1,25	0,158	1,58
6	1,5	0,252	2,52
7	1,75	0,334	3,34
8	2,0	0,410	4,1
9	2,25	0,520	5,2
10	2,5	0,615	6,15
11	2,75	0,700	7,0
12	3,0	1,100	11,0

Согласно полученным средним показателям коэффициента жесткости в программе Desmos ² (рис. 2.9) выведена формула зависимости величины коэффициента жесткости от толщины полимерного элемента композиционного материала:

$$K_B = 0,978986 * d^{2,07715} \quad (2.2),$$

где d – толщина полимерного элемента, мм.

По результатам проведенного исследования предложено классифицировать объемные элементы из полимера на три группы в зависимости от степени повышения жесткости исходного текстильного материала, которой он обладал до адгезии с полимерным элементом:

- толщиной от 0,25 мм до 0,75 мм – придают малую относительную жесткость;
- толщиной от 1,0 мм до 2,0 мм – придают среднюю относительную жесткость;

² <https://www.desmos.com/Calculator?lang=ru>

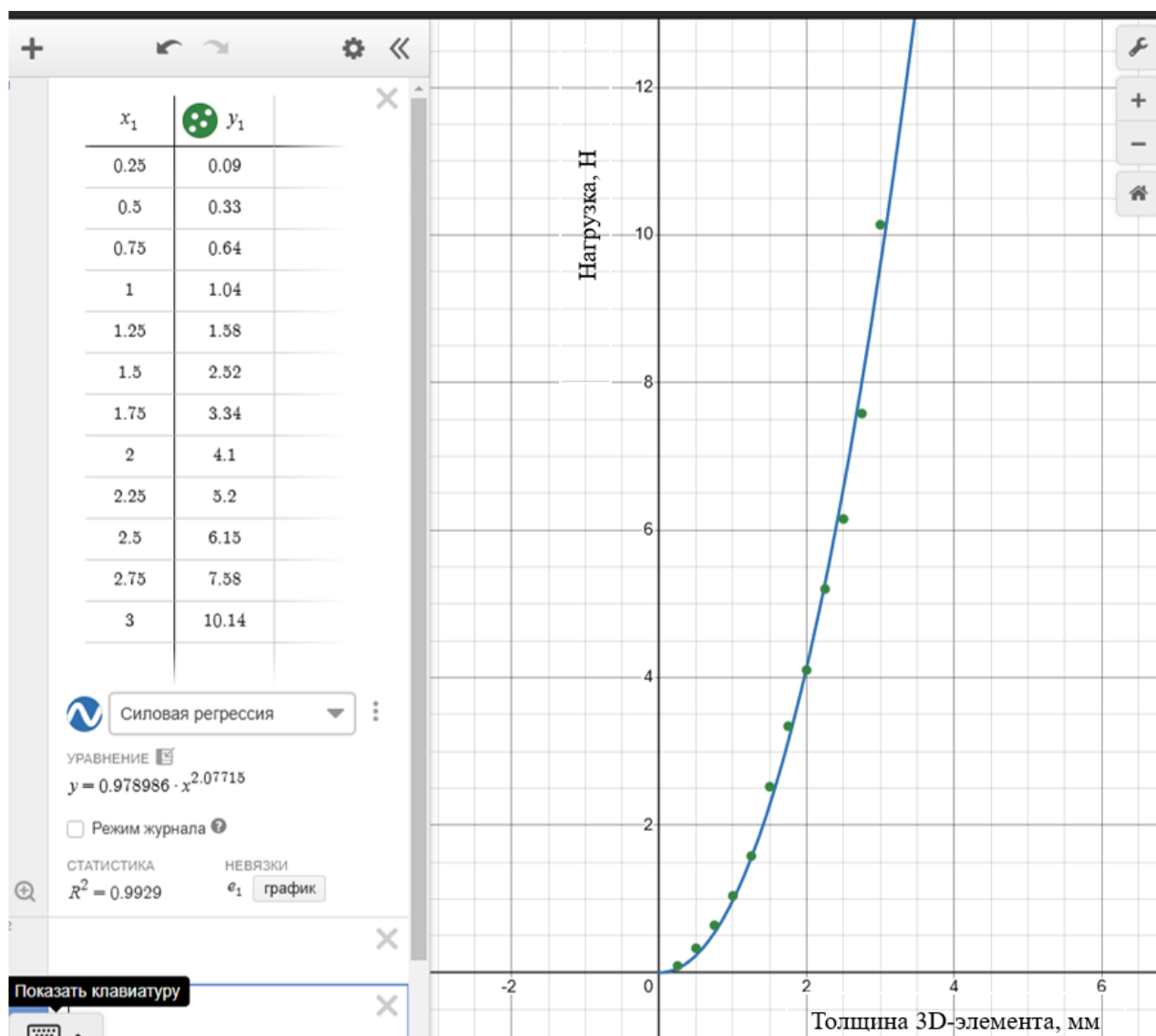


Рисунок 2.9 – График зависимости коэффициента жесткости композиционного материала от толщины полимерного элемента

- толщиной от 2,25 мм до 3,0 мм – придают высокую относительную жесткость.

Соответственно, за счет варьирования толщины объемного элемента из полимера возможно придавать швейному изделию разную зональную жесткость, выбираемую в зависимости от области применения и функционального назначения. Так относительно тонкие объемные полимерные элементы, толщина которых от 0,25 мм до 0,75 мм, следует использовать для декорирования в изделиях, не нуждающихся в значительном повышении жесткости. Объемные элементы толщиной от 1,0 мм до 2,0 мм целесообразно использовать для придания

зональной жесткости в тех местах конструкции, где в классической швейной технологии используют дублирующие материалы, например на воротниках, лацканах, клапанах, манжетах и т.п. Объемные элементы толщиной от 2,25 мм до 3,0 мм рекомендуем использовать в швейных изделиях для значительного увеличения зональной жесткости, например в качестве формоудерживающих элементов конструкции корсетов или защитных деталей, таких как наколенники. При проектировании швейных изделий толщина объемного элемента из полимера должна быть определена с учетом характеристик текстильного материала и предъявляемых требованиям к создаваемой одежде.

Исследование жесткости материала при изгибе методом кольца определили зависимости увеличения жесткости в процентном соотношении. При нанесении объемного элемента толщиной 0,25 мм на текстильный материал жесткость композита повышается на 15% по сравнению с жесткостью исходного текстильного материала. При нанесении объемного элемента толщиной 3,0 мм на текстильный материал – жесткость композита повышается до 30%. Таким образом, при нанесении объемных элементов толщиной от 0,25 мм до 3,0 мм на текстильный материал, жесткость композитных соединений варьируется от 15% до 30%.

С целью сокращения времени на натурные испытания при внедрении 3D-печати в производство швейных изделий теоретически возможно определить хотя бы приблизительное значение коэффициента жесткости композиционного материала расчетным путем, зная жесткость текстильного и полимерного материалов. Опираясь на методы прогнозирования свойств композиционных материалов можно использовать метод суперпозиции [145], предполагающий, что деформации слоёв происходят независимо и параллельно друг другу. Однако, принимая во внимание, что слои соединены адгезией, необходимо также учитывать влияние этого соединения на общую жесткость.

Адгезия между слоями может влиять на распределение напряжений и деформаций в композите. Если адгезия идеальна, то можно считать, что слои работают совместно и их жесткости складываются. В случае неполной адгезии или частичного заполнения (орнаментального решения) полимерного элемента,

необходимо учитывать коэффициент снижения жёсткости, который может быть определён экспериментально, однако требует еще большего времени на проведение исследования, чем измерение коэффициента жесткости композита напрямую. В связи с этим считаем, что при внедрении новых материалов для 3D-печати целесообразно проводить натурные испытания жесткости композитов, образованных в результате их адгезионного соединения с текстильными материалами.

Одним из показателей износостойкости изделий является устойчивость текстильных материалов к истиранию. Износостойкость является важным показателем, учитываемым при внедрении новых материалов в производство швейных изделий. При выполнении исследований свойств композиционных материалов, состоящих из текстильного материала и полимерного элемента, была выдвинута гипотеза, что адгезионное соединение текстиля с полимерным элементом повышает износостойкость исходного текстильного материала. Для подтверждения выдвинутой гипотезы проведено исследование устойчивости к истиранию ткани до и после ее соединения с полимерными элементами различной толщины.

Согласно ГОСТ 18976-73 [146] устойчивость к истиранию можно определить при помощи прибора ДИТ-М, предназначен для хлопчатобумажных, льняных, шелковых и смешанных тканей. Прибор осуществляет неориентированное истирание по плоскости мягким абразивом – серошинельным сукном. При помощи данного прибора были исследованы на устойчивости к истиранию образцы льняной ткани полотняного переплетения с поверхностной плотностью 210 г/м^2 с и без полимерных элементов (таблица 2.7).

Лабораторное исследование определения устойчивости к истиранию льняных тканей различной плотности с нанесенными полимерными элементами доказало, что плотность ткани и циклы истирания увеличились, но соответствуют ГОСТ 15968-2014 [147].

Таблица 2.7 – Результаты определения устойчивости к истиранию композитного материала из льняной ткани плотностью 210 г/м² и полимерных элементов из EasyFlex TPU-A 95 различной толщины

№ п/п	Толщина слоя объемного полимерного элемента, мм	Выносливость композитного материала, не менее, циклы
1	-	3 000
2	0,25	10 300
3	0,5	12 000
4	0,5	12 435
5	0,75	13 000
6	0,75	12 985
7	1,0	13 900
8	1,25	15 495
9	1,5	16 567
10	1,75	18 000
11	2,0	19 745
12	2,25	20 259
13	2,5	21 100
14	2,75	21 150
15	2,75	21 180
16	3,0	21 215
17	3,0	21 345

Опытным путем определено, что использование объемных элементов из полимера EasyFlex TPU-A 95 толщиной 2,0 мм в швейных изделиях из льняной ткани (100% лён) плотностью 210 г/м² в разы увеличивает износостойкость изделий. Это обусловлено тем, что объемный элемент фактически защищает ткань от истирания.

Однако при внедрении новых материалов в производство швейных изделий помимо определения показателей их свойств и режимов технологической обработки необходимо учитывать возможные технологические дефекты и иметь представление о способах их устранения.

2.5 Дефекты адгезии 3D-элемента из полимера и текстильного материала

В процессе поиска оптимальных режимов процесса прессования объемных элементов из полимера и текстильного материала определилась дополнительная необходимость провести исследования о возможных дефектах адгезии 3D-элемента из полимера и текстильного материала.

Для проведения эксперимента были распечатаны образцы 3D-элементов из полимера EasyFlex TPU-A 95 толщиной от 0,25 мм до 3,0 мм с шагом 0,25мм (толщина одного слоя печати 3D-принтера), по 10 образцов на каждую толщину (для семи временных интервалов прессования и запасные). Процесс прессования при 240°C и механическом давлении 7Па был выполнен семи разными промежутками времени: 10 сек., 15 сек., 25 сек., 30 сек., 40 сек, 45 сек. и 50 сек. В результате было получено 84 экспериментальных образца. Десять экспертов оценили прочность и качество адгезии 3D-элементов из полимера с текстильным материалом (100% лён, плотностью 210 г/м²) (рис. 2.10, Приложение А).

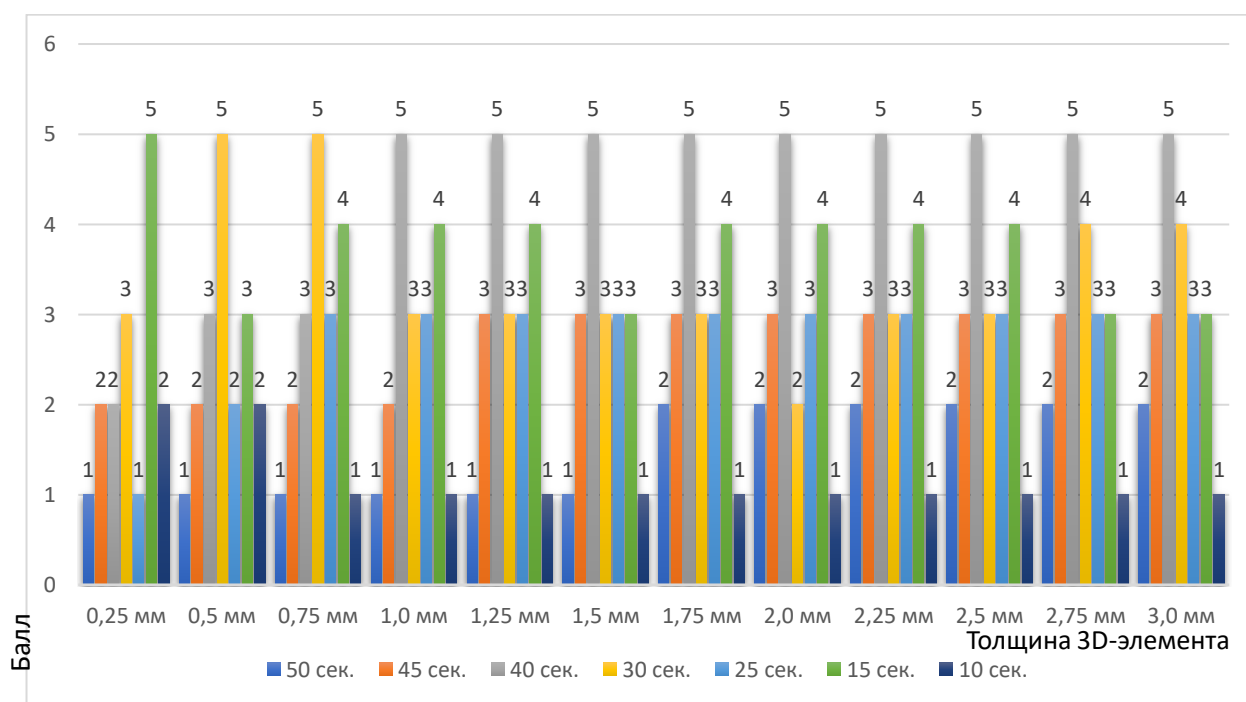


Рисунок 2.10 – Экспертная оценка качества адгезии 3D-элементов из полимера EasyFlex TPU-A 95 с тканью (100% лён, плотностью 210 г/м²)

На основании эксперимента оценки качества адгезии 3D-элементов из полимера с текстильным материалом, был выявлен ряд дефектов адгезии [148], рассмотрим их.

На рисунке 2.11 представлен образец 3D-элемента из полимера толщиной 2,25 мм, время адгезии – 50 сек., – объемный элемент расплавился и растекся по поверхности. Наименование дефекта – переход объемного элемента из термопластика в вязкотекучее состояние, причина – перегрев из-за излишнего времени прессования.



Рисунок 2.11 – Дефект «Переход объемного элемента из термопластика в вязкотекучее состояние». Время адгезии – 50 сек., толщина 3D-элемента 2,25 мм

Образец 3D-элемента из полимера толщиной 1,25 мм при времени адгезии 45 сек. проник на изнаночную сторону ткани, что может раздражать поверхность кожи человека и нарушать комфортное состояние пододежного пространства (рис. 2.12). Наименование дефекта – проникновение полимера на изнаночную сторону текстильного материала перегрев. Причина возникновения дефекта – излишнее время прессования.



а

б

Рисунок 2.12 – Дефект «Проникновение полимера на изнаночную сторону текстильного материала». Время адгезии – 45 сек., толщина 3D-элемента 1,25 мм, где: а – лицевая сторона ткани, б – изнаночная сторона ткани

При толщине 3D-элемента из полимера 0,5 мм и времени адгезии 25 сек. – объемный элемент предельно нагревается и теряет целостность из-за перегрева (рис. 2.13). Дефект – изменение целостности орнамента объемного элемента из термопластика. Причина – перегрев в следствие излишнего времени прессования.



Рисунок 2.13 – Дефект «Изменение целостности орнамента объемного элемента из термопластика». Время адгезии – 25 сек., толщина 3D-элемента – 0,5 мм

Следующий дефект возникает как следствие низкого качества адгезии – расслаивание. Так при толщине объемного элемента 0,25 мм и времени адгезии 10

сек., прочность адгезии нарушена, объемный элемент отслаивается от текстильного материала (рис. 2.14).



Рисунок 2.14 – Дефект «Расслаивание». Время адгезии 10 сек.,
толщина 3D-элемента – 0,25 мм

Помимо приведенных наглядных примеров дефектов, связанных с полимерными элементами, возможна ситуация нарушения целостности текстильного материала в результате прессования, которая может сложиться как следствие неверно подобранной температуры воздействия или волокнистого состава текстиля.

Изготовление швейных изделий с объемными элементами из термопластика требует строгого соблюдения режимов процесса адгезии. В случае их нарушения могут возникать рассмотренные дефекты. На рисунке 2.15 изображена предлагаемая нами классификация дефектов швейных изделий с объемными элементами из термопластика по причине возникновения [149].

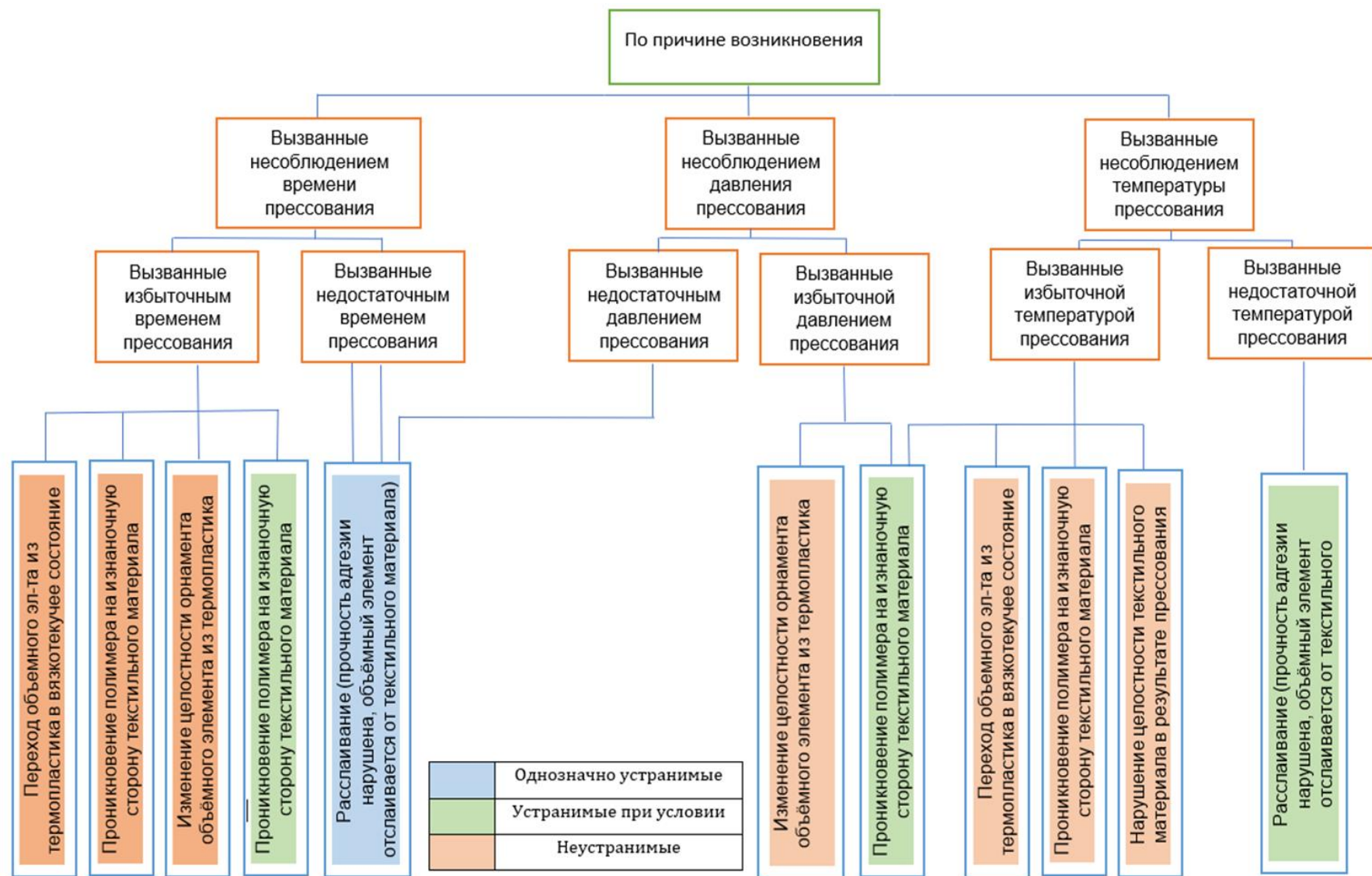


Рисунок 2.15 – Классификация дефектов швейных изделий с объемными элементами из термопластика по причине возникновения

Во всех рассмотренных случаях к неустранимым дефектам относится изменение целостности орнамента объемного элемента из термопластика, изменение целостности текстильного материала и переход объемного элемента из термопластика в жидкое состояние.

При несоблюдении температурных режимов адгезии может возникнуть дефект – расслаивание. Это устранимый дефект. В случае возникновения расслаивания объемный элемент из термопластика повторно прессуется при увеличении температуры.

При несоблюдении времени адгезии может возникнуть устранимый дефект, в случае изготовления швейного изделия с подкладкой, это – проникание объемного элемента на изнаночную сторону ткани. В случае изготовления швейного изделия без подкладки – этот дефект считается неустранимым. К неустранимым дефектам, возникшим в результате излишнего температурного воздействия, также относится переход объемного элемента из термопластика в жидкое состояние.

Несоблюдение давления адгезии может привести к расслаиванию объемного элемента. Это устранимый дефект. В случае возникновения расслаивания объемный элемент из термопластика повторно прессуется при увеличении давления. К неустранимым дефектам относится изменение целостности орнамента объемного элемента из термопластика, возникающее в результате излишнего давления прессования.

Для изготовления качественных изделий контролеры ОТК должны осуществлять контроль качества на участке прессования объемных элементов из термопластика и текстильного материала, а также уже готовых изделий. Предложенная классификация дефектов швейных изделий с объемными элементами из термопластика по степени устранения может быть применена в массовом производстве для проверки на наличии брака сборочных единиц и готовой продукции.

Опираясь на полученный опыт оценки образцов экспертами, составлена методика определения качества адгезии объёмных элементов из термопластика и текстильного материала для оценки качества швейных изделий в массовом

производстве. Суть методики в двухступенчатой оценке: на первом этапе выполняется субъективная органолептическая оценка без использования специализированного оборудования. В случае, если экспериментальный образец получил положительную оценку в результате органолептической оценки, переходят ко второму этапу определения качества адгезии с использованием разрывной машины РТ-250М-2. Таким образом, методика проведения испытаний состоит в следующем:

1. Органолептическим и при помощи измерительных приборов определяется:

1.1. Целостность орнамента объемного элемента: визуально оценить, нет ли повреждений, деформаций или искажений орнамента. В случае наличия одного или нескольких из перечисленных дефектов образец отбраковывается.

1.2. Усадка текстильного материала на соответствие допустимой величине: измерить размеры образца текстильного материала до и после прессования с полимерным элементом, чтобы определить величину усадки и сравнить её с допустимой величиной при необходимости.

1.3. Степень проникания термопластика объемного элемента на изнаночную сторону текстильного материала: органолептически определить наличие проникновения термопластика на изнаночную сторону материала. В случае наличия проникновения производится оценка допустимости этого дефекта. Так в случае, если изделие будет изготовлено на подкладке, то проникновение термопластика на изнаночную сторону допустимо.

1.4. Равномерность адгезии объемного элемента и текстильного материала: визуально оценивается полнота адгезионного соединения объёмного элемента с текстильным материалом, чтобы убедиться в отсутствии мест без соединения, складок или отслоений.

2. Успешно прошедшие на первом этапе отбор образцы испытываются на разрывной машине РТ-250М-2 методом расслаивания.

На основе полученных данных делается вывод о качестве адгезии объёмных элементов из термопластика и текстильного материала.

Выводы по главе 2

1. Разработаны и изготовлены экспериментальные образцы 3D-элементов в ПО Autodesk Fusion 360 в трехмерной среде с последующей распечаткой на 3D-принтере, которые отличаются толщиной, т.е. количеством слоев печати, а также видом исходного филамента (полимера). Обоснована целесообразность печати полимерных элементов для дальнейшего использования в производстве одежды толщиной от 0,25 до 3,00 мм, что соответствует 1-12 слоям 3D-печати.
2. Проведено исследование ниточного способа соединения 3D-элементов с текстильными материалами, которое выявило комплекс недостатков, не позволяющих использовать такой способ соединения в производстве одежды: при эксплуатации жесткие края полимерного элемента отворачиваются и могут наносить механические повреждения коже, а также деформироваться в процессе эксплуатации, ниточные соединения будут перетираться и разрушаться вследствие большой разности между жесткостью нитей и полимера, а образованные отверстия от иглы в объемных элементах будут деформироваться и крошиться из-за неравномерно распределенной нагрузки.
3. Предложено использовать адгезионное соединение полимерного 3D-элемента с текстильным, формируемое путем прессования на прессе, который применяют в классической технологии обработки швейных изделий для влажно-тепловой обработки. В результате прессования, под действием повышенной температуры и давления, гибкий полимер соединяется с текстильным материалом с формированием адгезионного соединения, при этом физико-механические свойства полученного композиционного материала остаются в рамках требований, предъявляемых к одежным материалам, а по прочности и жесткости значительно превышают показатели исходного текстильного материала.
4. В результате опытных испытаний на прессе определено, что при температуре пресса 240 °С объемный элемент из полимера сохраняет целостность границ, не деформируется и не растекается. Указанная температура принята единой для проведения многофакторного эксперимента.

5. Опытным путем определено, что механическое давление 7 Па позволяет изготовить качественные образцы композитных материалов, имеющих прочную адгезию, при этом орнамент объемных элементов сохраняет целостность и не деформируется.

6. Исследованы образцы текстильных материалов, соединенных адгезией с полимерными 3D-элементами, в результате чего выявлено, что наиболее высокие показатели адгезионной нагрузки имеют:

- образцы ткани с элементом из полимера EasyFlex TPU-A 95;
- льняная ткань (100% лён).

По результатам исследования адгезионное соединение льняной ткани плотностью 210 г/м² и напечатанного из полимера EasyFlex TPU-A 95 элемента выбрано в качестве *образца-эталона*.

7. Экспериментально определено оптимальное с точки зрения технологичности и соответствия эталонному образцу по качеству адгезии время процесса прессования льняного материала полотняного переплетения (100% лён, плотностью 210 г/м²) с 3D-элементом из полимера EasyFlex TPU-A 95 в зависимости от его толщины:

- 1) Толщина 3D-элемента составляет 0,25 мм – время прессования 15 сек.;
- 2) Толщина 3D-элемента от 0,5 мм до 0,75 мм – время прессования 30 сек.;
- 3) Толщина 3D-элемента от 1,0 мм до 3,0 мм – время прессования 40 сек.

8. Согласно экспериментально полученным средним показателям коэффициента жесткости образцов текстильных материалов соединенных адгезионно с элементами из полимера EasyFlex TPU-A 95 разной толщины в программе Desmos выведена формула зависимости величины коэффициента жесткости от толщины полимерного элемента композиционного материала:
 $K_b = 0,978986 * d^{2,07715}$.

9. Предложено классифицировать объемные элементы из полимера на три группы в зависимости от степени повышения жесткости исходного текстильного материала, которой он обладал до адгезии с полимерным элементом:

- толщиной от 0,25 мм до 0,75 мм придают малую относительную жесткость, увеличивая исходную жесткость текстильного материала до 15%;
- элементы толщиной от 1,0 мм до 2,0 мм придают среднюю относительную жесткость;
- элементы толщиной от 2,25 мм до 3,0 мм придают высокую относительную жесткость, увеличивая исходную жесткость текстильного материала до 30%.

10. Предложена классификация дефектов швейных изделий с объемными элементами из термопластика по причине возникновения, а также методика определения качества адгезии объёмных элементов из термопластика и текстильного материала, которые могут быть применены в массовом производстве для проверки на наличие брака сборочных единиц и готовой продукции.

ГЛАВА 3. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ШВЕЙНЫХ ИЗДЕЛИЙ С ЭЛЕМЕНТАМИ ОБЪЕМНОЙ ПЕЧАТИ ТЕРМОПЛАСТИЧНЫМ ПОЛИМЕРОМ

Технология изготовления швейных изделий – это процесс соединения деталей кроя последовательным, параллельным или последовательно-параллельным способом. Процесс изготовления швейных изделий подразумевает технологическую цепочку последовательных действий, которая включает использование швейного оборудования, установок для ВТО, автоматизированное оборудование и многое другое. От соблюдения технологической последовательности изготовления зависит качество швейных изделий.

Разработка технологии изготовления швейных изделий с элементами объемной печати термопластичным полимером заключается во внедрении инновационного оборудования и материалов в классический технологический процесс изготовления швейных изделий.

Разработка технологии изготовления швейных изделий с элементами объёмной печати требует комплексного подхода, включающего в себя: разработку способа функционального применения объемными элементами из термопластичного полимера; анализ классической технологии изготовления швейных изделий на предмет выявления технологических операций, на которых возможна реорганизация технологической последовательности; разработку обобщенной структуры технологии изготовления швейных изделий с элементами объёмной печати, изготовление экспериментальных образцов по предложенной технологии и оценка их качества, составление рекомендаций для массового производства по технологии соединения текстильного материала и элементов из термопластичного полимера при помощи прессов.

Дублирование деталей кроя термоклеевыми прокладочными материалами выполняют, как правило, по изнаночной стороне ткани. Объемные элементы из термопластичного полимера имеют орнамент, толщину и свойства, которые

позволяют выполнять процесс дублирования по лицевой стороне ткани. Таким образом дублирование деталей кроя швейных изделий объемными элементами из термопластичного полимера по лицевой стороне ткани принимаем за декоративное дублирование, так как детали кроя получают функцию не только повышения жесткости, но и декорирования.

3.1 Разработка способа декоративного дублирования деталей кроя швейного изделия объемными элементами из термопластичного полимера

Технология изготовления швейных изделий подразумевает использование термоклеевых дублирующих материалов, которые повышают жесткость и формоустойчивость на необходимых участках изделия. Для дублирования деталей кроя используют текстильные, клеевые, порошковые материалы, обработку плазмой и нанесение различных покрытий из застывающих жидких соединений [150]. Термоклеевые прокладочные материалы подбирают в зависимости от свойств ткани и необходимого эффекта. Для производства швейных изделий используют термоклеевые прокладочные материалы на тканой, нетканой и трикотажной основах [151].

Процесс дублирования выполняют под действием высоких температур, при заданных параметрах времени воздействия и давления. Дублирующие материалы на поверхности имеют слой клея, который под действием высоких температур переходит в термопластичное состояние, проникает в волокна ткани и фиксирует дублирующий материал на изнаночной стороне ткани. Недостатком метода дублирования швейных изделий термоклеевыми материалами является отслоение дублирующего материала из-за несоблюдения температурных режимов в процессе дублирования, срока годности клея, несоблюдением рекомендаций по уходу за изделием в процессе эксплуатации, усадка в процессе дублирования деталей кроя, возможность использования только на изнаночной стороне основного материала.

Изложенные во второй главе диссертации результаты оценки свойств экспериментальных образцов показали, что соединение текстильных материалов с напечатанными на 3D-принтере элементами из гибкого полимера значительно повышает жесткость исходного одежного материала. Помимо этого, исследования адгезионного соединения напечатанных на 3D-принтере элементов из термопластичного полимера с текстильными материалами позволили сделать вывод о том, что соединение в полной мере отвечает требованиям надежности, предъявляемых к одежным материалам, и может быть применено при изготовлении швейных изделий, а именно предметов одежды. Объемные элементы из термопластичного полимера можно использовать как на лицевой, так и на изнаночной стороне ткани, в зависимости от необходимого эффекта. Указанное в совокупности позволило выдвинуть гипотезу, о том, что объемные элементы из термопластичного полимера могут выполнять в швейных изделиях сразу две функции: придание зональной жесткости и декорирование. В этом случае такие элементы конструкции будут являться *декоративными дублирующими элементами*.

Область дублирования определяется с учетом эксплуатационных свойств проектируемого швейного изделия. Так для блузы женской целесообразно применять объемные элементы из термопластика в области верхнего воротника, внешней стойки воротника, внешней планки борта, манжетах. Для платья, в зависимости от модели, декоративному дублированию можно подвергнуть область горловины, линию низа изделия и рукавов, входы в карманы, т.е. именно те участки и детали, которые общепринято укреплять клеевыми прокладками.

При обосновании целесообразности применения объемных элементов из термопластика следует учитывать функциональное назначение клеевых прокладок, которые будут заменены на распечатанные на 3D-принтере элементы. Как известно [152], клеевые прокладочные материалы применяют в швейной промышленности для следующих целей:

- придание формоустойчивости, увеличение жесткости детали или отдельных ее участков;

- фиксация формообразования, полученного посредством ВТО (пройма спинки и т.д.);
- предотвращение криволинейного среза от растяжения в процессе изготовления и эксплуатации изделия (горловина спинки, плечевой срез спинки и т.д.).

Размер элементов, распечатываемых на 3D-принтере, ограничен только размером рабочей поверхности принтера. В связи с этим, учитывая сравнительно небольшие размеры деталей кроя швейных изделий, объемные элементы из термопластичного полимера могут соответствовать форме и размеру дублируемых деталей кроя. Принимая во внимание цель операции дублирования и возможности оборудования, декоративное дублирование может выполняться как фронтально, так и зонально. Рассмотрим примеры и особенности этих двух вариантов декоративного дублирования.

Цель фронтального дублирования – придание необходимой формоустойчивости и жесткости всей детали кроя. В качестве примера можно привести фронтальное дублирование деталей женского корсета или воротника (рис. 3.1). При внедрении декоративного дублирования полимерными элементами следует учитывать технологию обработки дублируемых деталей и в соответствии с ней проектировать размеры 3D-элементов, форма которых должна повторять форму лекал без припусков. Во время дублирования деталей кроя, которые уже имеют надсечки, объемные элементы укладываются по разметке, и операция подрезки не требуется. При дублировании ткани при помощи проходных прессов во время раскроя проставляются все необходимые надсечки.

Зональное дублирование швейных деталей применяют с целью увеличения жесткости отдельных участков детали кроя, предотвращения растяжения срезов, фиксации формы. Использование декоративного дублирования в этой области открывает новые возможности, особенно на тех участках, где необходимо выполнить фиксацию формы или зональное придание жесткости с целью предотвращения изменения формы детали изделия при эксплуатации. К таким участкам следует отнести: уголки воротников и лацканов, входы в карманы,

горловину, участки кокеток и т.п. При использовании полимерных элементов для зонального декоративного дублирования их форма и декоративное решение должны быть спроектированы с учетом:

- размеров области детали, которым необходимо придать большую жесткость;
- функционального назначения дублирующей детали (предотвращение растяжения, фиксация объемной формы, увеличение жесткости для предотвращения закручивания края при эксплуатации и т.д.);
- технологии обработки продублированной детали при сборке изделия.

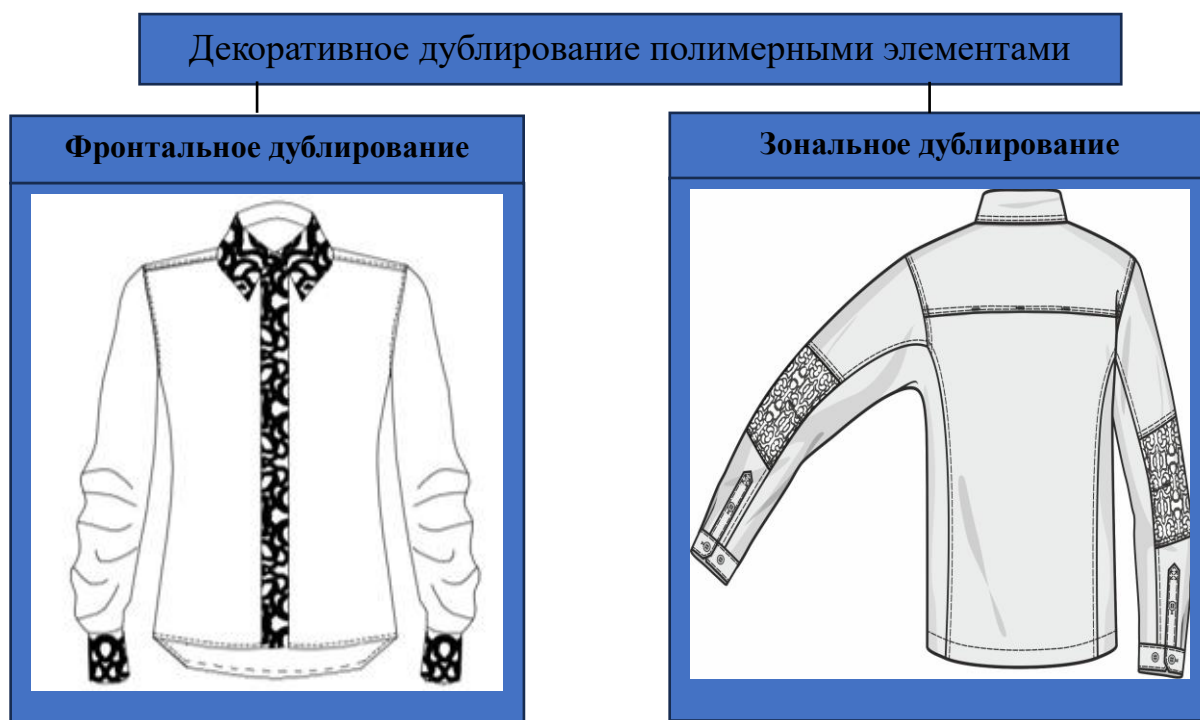


Рисунок 3.1 – Виды декоративного дублирования полимерными элементами

Процесс дублирования термопластичным полимером можно выполнять на этапе заготовки или сборки швейных изделий. Использование объемных элементов из термопластичного полимера не требует глобальной реорганизации технологического процесса, поскольку для соединения полимерных деталей с деталями кроя требуется только пресс, что было описано во Главе 2.

При выборе оборудования для разработки способа декоративного дублирования деталей кроя с объемными элементами из термопластичного полимера необходимо учитывать область дублирования, требования к форме, и площадь деталей, которые должны быть равномерно нагреты. На рынке

представлены различные пресса, как объемные, так и плоские. Для изготовления изделий, где применяется фронтальное дублирование плоских деталей кроя, можно использовать плоские пресса, проходные пресса и специальные пресса для воротника и манжет (рис. 3.2).

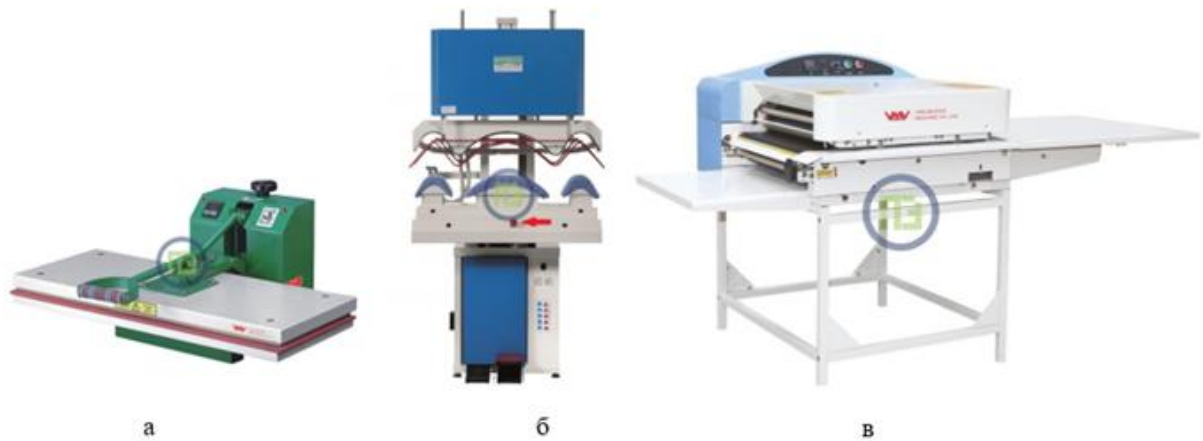


Рисунок 3.2 – Ассортимент прессов для влажно-тепловой обработки, где: а – плоский пресс, б – специальный пресс для манжет и воротника, в – проходной пресс [153]

В случае использования объемных элементов из термопластика при декоративном дублировании пресс необходимо выбирать в зависимости от формы объемного элемента и места крепления.

Не рекомендуется использовать утюг или парогенератор для процесса дублирования текстильного материала объемными элементами из термопластика. Утюг и парогенератор не способны создать постоянных условий для процесса дублирования, что приведет к некачественной фиксации объемных элементов из термопластика на ткани.

Принцип действия прессов для влажно-тепловой обработки одинаковый. Сначала необходимо включить пресс и установить необходимую температуру, время процесса дублирования, а также силу давления.

В зависимости от используемого оборудования разработаны два равноценных по трудоемкости способа декоративного дублирования деталей кроя

швейного изделия с объемными элементами из термопластичного полимера: дублирование деталей кроя объемными элементами из термопластичного полимера при помощи плоского пресса или специальных прессов и дублирование ткани объемными элементами из термопластичного полимера при помощи проходного пресса.

Способ 1. Дублирование деталей кроя объемными элементами из термопластичного полимера при помощи плоского пресса или специальных прессов: на нижнюю площадку пресса укладывают объемные элементы из термопластика, на объемные элементы кладут детали кроя из ткани, затем пресс прижимает все материалы. После процесса дублирования может потребоваться дополнительная подрезка деталей кроя.

При использовании этого способа возможно выполнить дублирование на плоском прессе деталей кроя из текстильных материалов полимерными элементами постоянной толщины, не имеющими внутренней кривизны, а также на специальном прессе дублирование объемных деталей или узлов из текстильного материала полимерными элементами переменной толщины, имеющими постоянную или переменную внутреннюю кривизну поверхности.

Способ 2. Дублирование ткани объемными элементами из термопластичного полимера при помощи проходного пресса: объемные элементы из термопластика укладывают на движущую поверхность пресса, сверху кладут ткань, после процесса дублирования необходимо вырезать продублированные детали кроя по лекалам.

Способ выбирается в зависимости от места расположения объемных элементов из термопластика, конфигураций лекал и функционального назначения. На плоском прессе целесообразнее выполнять зональное дублирование деталей кроя в малосерийных партиях. К зональному дублированию относятся декоративные мелкие элементы, которые могут располагаться в швейных изделиях только для декора без дополнительных функций, к примеру, нанесение логотипа, зонального рисунка или товарного знака и т.д. Когда в швейных изделиях выполняют фронтальное дублирование деталей кроя и серия изделий крупная – для

экономии времени и точности дублирования целесообразно выполнять дублирование на проходном прессе. В швейных изделиях фронтальное дублирование может быть выполнено полностью на деталях, требующих повышения жесткости, к примеру, воротник, стойка воротника, планки, манжеты рукавов, а также дублирование полностью швейного изделия на примере корсета. На рисунке 3.3 представлены два варианта последовательности декоративного дублирования.

Последовательность декоративного дублирования на плоском или специальном прессах	Последовательность декоративного дублирования на проходном прессе
• укладка объемных элементов из термопластика на нижнюю подушку прессы; • укладка деталей кроя из ткани поверх объемных элементов; • прессование; • подрезка (при необходимости)	• укладка объемных элементов из термопластика на движущуюся поверхность прессы; • укладывание ткани поверх объемных элементов; • прессование; • выкраивание продублированных деталей

Рисунок 3. 3 – Два варианта последовательности декоративного дублирования

Декоративное дублирование швейного изделия с объемными элементами из термопластичного полимера можно выполнять на любом участке обработки и сборки изделия. Разработанные способы декоративного дублирования не требуют глобальной реорганизации технологического процесса.

Дальнейшая разработка технологии изготовления швейных изделий с объемными элементами из термопластика отталкивалась от составления обобщенной структуры технологического процесса, которую можно применить к различным швейным изделиям.

3.2 Разработка обобщенной структуры технологии изготовления швейных изделий с декоративным дублированием элементами из термопластичного полимера

Структура технологического процесса изготовления швейных изделий формируется в зависимости от типа изготавливаемого изделия. Сама структура подразумевает взаимосвязь технологических процессов с этапами производства. В общем виде структура технологического процесса изготовления швейных изделий состоит из раскроя, заготовки, сборки и окончательной отделки швейных изделий.

На этапе конструирования принимаются решения о технологической обработке изделия. Классическая технология изготовления швейных изделий подразумевает проектирование производных лекал, в том числе лекал для дублирующих деталей. Предлагаемая нами технология изготовления швейных изделий подразумевает разработку элементов объемной печати термопластичным полимером в аддитивной среде, в которой можно задать все необходимые параметры, смоделировать характеристики материалов, выявить дефекты и устранить их до начала производства [154].

Структура изготовления швейного изделия с использованием элементов из термопластичного полимера – это система взаимосвязанных подсистем. Для разработки структурной модели изготовления швейных изделий целесообразно использовать метод структурного моделирования, включающий в себя анализ и синтез, который заключается в исследовании объекта, изучения его свойств, внутренних взаимосвязей и отдельных элементов. Метод анализа позволяет рассмотреть и исследовать все качества объекта отдельно. Метод синтеза, применимый после анализа, дает возможность соединить все качества объекта воедино.

На примере корсета женского с объемными элементами из термопластика разработана схема технологического процесса изготовления швейных изделий с элементами объемной печати термопластичным полимером [155] (рис.3.4).

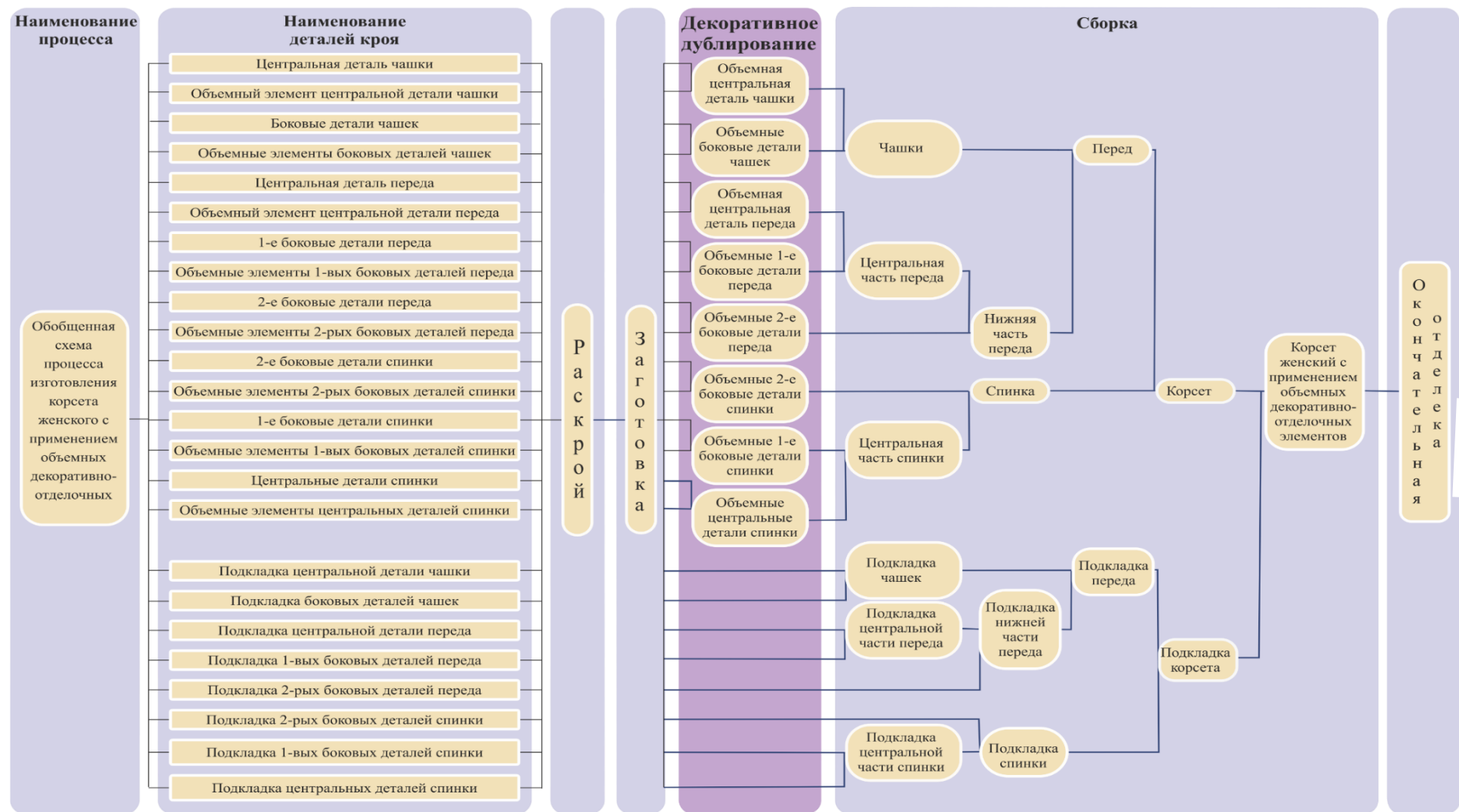


Рисунок 3.4 – Схема технологического процесса изготовления корсета женского с объемными элементами из термопластичного полимера

Схема технологического процесса изготовления швейного изделия позволяет разделить производственный процесс на этапы. Предлагаемая нами технология изготовления швейных изделий с объемными элементами из термопластика основывается на классической технологии изготовления швейных изделий.

Входной информацией, необходимой и достаточной для разработки технологии на новую модель корсета с объемными элементами из термопластика являются:

- свойства текстильного материала;
- свойства объемного элемента из полимера;
- режимы процесса адгезии;
- классическая технология обработки корсета женского [156].

При разработке технологии изготовления корсета женского необходимо выполнить следующие действия:

- разделить технологический процесс обработки корсета женского на блоки;
- блок дублирования отнести к основным и заменить им множество ручных операций по обработке жестких формообразующих элементов, изготавливаемых с использованием регилина;
- выделились блоки заготовки и сборки.

Схема технологического производственного процесса изготовления корсета женского с объемными элементами из термопластичного полимера наглядно демонстрирует все основные этапы технологического процесса. На этапе дублирования происходит процесс адгезии объемных элементов из термопластичного полимера и деталей кроя из текстильного материала — это доказывает гипотезу, что использование объемных элементов из термопластичного полимера не требует значительной реорганизации технологического процесса. Орнаментальное и цветное решение объемных элементов из термопластичного полимера может меняться очень часто, при этом технологическая последовательность изготовления и режимы настройки технологического оборудования не будут изменяться, что позволит расширить ассортимент выпускаемых изделий и снизить временные затраты на запуск в производство

новых моделей одежды. Объемные элементы из термопластичного полимера исключают использование дополнительных термоклеевых дублирующих материалов, косточек и регилина, что существенно сокращает время производства.

На основе схемы технологического процесса изготовления швейного изделия с объемными элементами из термопластичного полимера показана обобщенная структура технологии изготовления швейных изделий с декоративным дублированием элементами из термопластичного полимера (рис. 3.5), применяемая ко всем видам одежды.

Соединение объемных элементов из термопластичного полимера с тканью выполняется на этапе декоративного дублирования. Этот блок включает в себя одновременно функциональную и декоративную отделку деталям кроя из ткани объемными элементами из термопластичного полимера.

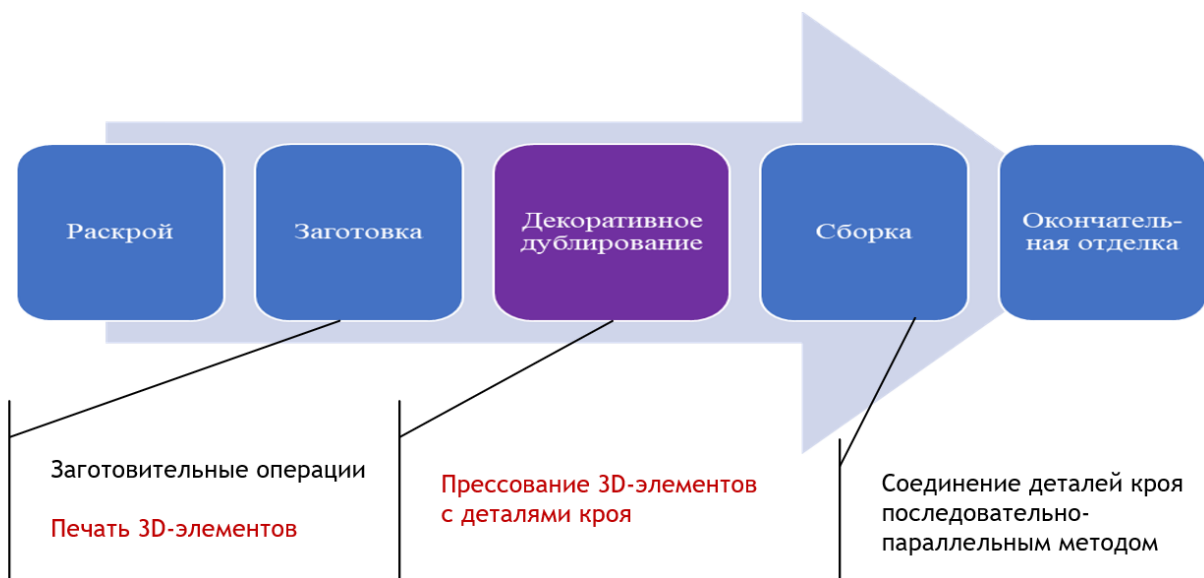


Рисунок 3.5 – Обобщенная структура технологии изготовления швейных изделий с декоративным дублированием элементами из термопластичного полимера

Таким образом, подводя итог следует отметить, что предложенная технология изготовления швейных изделий с декоративными дублирующими элементами из термопластичного полимера заключается в использовании современных технологий 3D-печати для придания деталям кроя большей жесткости, формоустойчивости с одновременной декоративной отделкой, что способствуют

снижению трудоемкости изготовления готовой продукции. Процесс адгезии объемного элемента из термопластичного полимера с текстильным материалом был вынесен на участок декоративного дублирования деталей кроя во избежание существенной реорганизации технологического процесса.

Для подтверждения теоретических разработок на следующем этапе диссертационного исследования были изготовлены экспериментальные модели женской одежды с декоративными дублирующими элементами из термопластичного полимера.

3.3 Разработка экспериментальных моделей женской одежды с применением орнаментального дублирования полимерными деталями

В качестве первого экспериментального образца для проверки практической значимости теоретических разработок выбран женский корсет с фронтальным декоративным дублированием всех основных деталей элементами из термопластичного полимера. Основной целью изготовления экспериментального образца являлась оценка возможности применения предложенной технологии для внедрения в массовое производство.

Техническая задача разработки корсета женского с применением декоративного дублирования из термопластичного полимера заключается в сокращении используемых материалов, уменьшении трудоемкости процесса, увеличения долговечности изделия и расширения ассортимента. Использование объемных деталей из термопластичного полимера исключит использование дублирующих материалов, регилина и косточек. Объемные детали с орнаментом из термопластичного полимера могут быть расположены как на лицевой, так и на изнаночной стороне ткани. Орнамент объемных элементов при расположении на лицевой стороне ткани декорирует изделие при одновременном дублировании.

Ранее в исследованиях было выявлено, что возможно использовать толщину объемных элементов из термопластика от 0,25 мм до 3,0 мм в зависимости от необходимого эффекта и назначения изделия, при этом зональная жесткость будет

варьироваться от 15% до 30%. Для изготовления экспериментального образца толщина декоративных дублирующих элементов из термопластика выбрана равной 2,0 мм. Выбранная толщина обеспечивает повышение жесткости изделия при сохранении комфортного уровня эргономики изделия в целом.

В экспериментальном образце объемные детали из термопластичного полимера по внешней форме повторяют конструкцию деталей кроя из ткани без припусков, расположены на центральной детали чашек, боковых деталях чашек, центральной детали переда, средних деталях переда, боковых деталях переда, боковых деталях спинки, средних деталях спинки, центральных деталях спинки и соединены с соответствующими деталями из ткани методом прессования при воздействии высокой температуры в 240°C , времени дублирования в 30 сек. и механического давления в 7 Па, в результате чего формируется надежное адгезионное соединение расплавленного термопластичного полимера и ткани. На рисунке 3.6 представлен технический эскиз корсета женского с применением декоративного дублирования элементами из термопластичного полимера.



а



б

Рисунок 3.6 – Технический эскиз корсета женского с применением декоративного дублирования элементами из термопластичного полимера, где: а – вид спереди, б

– вид сзади

После процесса дублирования, детали кроя соединяют последовательно или последовательно-параллельно стачными швами без использования дополнительных дублирующих материалов, косточек или регилина. В таблице 3.1 представлен справочник технологических операций по изготовлению корсета женского с декоративными дублирующими элементами из термопластичного полимера. Дублирование деталей кроя из ткани, соответствующими деталями объемных элементов из термопластичного полимера из-за достаточной площади прессы выполнено за одну операцию. Затраты времени на технологические операции были измерены при помощи секундомера.

Таблица 3.1 – Справочник технологических операций по изготовлению корсета женского с декоративными дублирующими элементами из термопластичного полимера

№ п/п	Наименование технологической операции	С/Р	Затрата времени, с	Оборудование
1	2	3	4	5
Заготовка				
1	Проверить наличие деталей кроя и соответствующих объемных элементов из термопластика	Р/2	153,0	-
Декоративное дублирование				
2	Продублировать центральную деталь чашек, боковые детали чашек, центральную деталь переда, средние детали переда, боковые детали спинки, средние детали спинки, центральные детали спинки соответствующими объемными элементами из термопластичного полимера	П/2	40,0	П/У Type Special I-P5/16A
Сборка деталей кроя с объемными элементами из термопластичного полимера				
3	Притачать боковые детали чашек к центральной детали чашек	М/3	76,8	Juki DDL-5600NJ-7
4	Разутюжить швы притачивания боковых деталей чашек к центральной детали чашки	У/2	27,6	Comel FB/F/RU, Battistella URANO 98 Maxi
5	Притачать средние детали переда к центральной детали переда	М/3	76,8	Juki DDL-5600NJ-7
6	Разутюжить швы притачивания средних деталей переда к центральной детали переда	У/2	27,6	Comel FB/F/RU, Battistella URANO 98 Maxi

Продолжение таблицы 3.1

1	2	3	4	5
7	Притачать боковые детали переда к средним деталям переда	М/3	96,0	Juki DDL-5600NJ-7
8	Разутюжить швы притачивания боковых деталей переда к средним деталям переда	У/2	34,5	Comel FB/F/RU, Battistella URANO 98 Maxi
9	Притачать деталь чашек к переду	М/4	134,4	Juki DDL-5600NJ-7
10	Заутюжить шов притачивания чашек к переду в сторону чашек	У/2	48,3	Comel FB/F/RU, Battistella URANO 98 Maxi
11	Притачать боковые детали спинки к средним деталям спинки	М/3	122,8	Juki DDL-5600NJ-7
12	Разутюжить швы притачивания боковых деталей спинки к средним деталям спинки	У/2	44,16	Comel FB/F/RU, Battistella URANO 98 Maxi
13	Притачать средние детали спинки к центральным деталям спинки	М/3	115,2	Juki DDL-5600NJ-7
14	Разутюжить швы притачивания средних деталей спинки к центральным деталям спинки	У/2	41,4	Comel FB/F/RU, Battistella URANO 98 Maxi
15	Стачать боковые срезы переда и спинки	М/3	111,4	Juki DDL-5600NJ-7
16	Разутюжить боковые швы переда и спинки	У/2	40,0	Comel FB/F/RU, Battistella URANO 98 Maxi
17	Наметить место расположение крючков и петель на спинке	Р/2	22,0	Мел, лекало
18	Пришить крючки на левый центральный срез спинки, а петли – на правый центральный срез спинки	С/4	60,0	AUTOSEW BK- 510B
Сборка деталей кроя подкладки				
19	Притачать боковые детали подкладки чашек к центральной детали подкладки чашек	М/3	74,8	Juki DDL-5600NJ-7
20	Разутюжить швы притачивания боковых деталей подкладки чашек к центральной детали чашки	У/2	25,6	Comel FB/F/RU, Battistella URANO 98 Maxi
21	Притачать средние детали подкладки переда к центральной детали подкладки переда	М/3	74,8	Juki DDL-5600NJ-7
22	Заутюжить швы притачивания средних деталей подкладки переда к центральной детали подкладки переда в сторону бока	У/2	25,6	Comel FB/F/RU, Battistella URANO 98 Maxi
23	Притачать боковые детали подкладки переда к средним деталям подкладки переда	М/3	94,0	Juki DDL-5600NJ-7
24	Заутюжить швы притачивания боковых деталей подкладки переда к средним деталям подкладки переда в сторону бока	У/2	32,5	Comel FB/F/RU, Battistella URANO 98 Maxi

Окончание таблицы 3.1

1	2	3	4	5
25	Притачать деталь подкладки чашек к подкладке переда	M/3	132,4	Juki DDL-5600NJ-7
26	Заутюжить шов притачивания подкладки чашек к подкладке переда в сторону подкладки чашек	Y/2	46,3	Comel FB/F/RU, Battistella URANO 98 Maxi
27	Притачать боковые детали подкладки спинки к средним деталям подкладки спинки	M/3	120,8	Juki DDL-5600NJ-7
28	Заутюжить швы притачивания боковых деталей подкладки спинки к средним деталям подкладки спинки в сторону бока	Y/2	42,16	Comel FB/F/RU, Battistella URANO 98 Maxi
29	Притачать средние детали подкладки спинки к центральным деталям подкладки спинки	M/3	113,2	Juki DDL-5600NJ-7
30	Заутюжить швы притачивания средних деталей подкладки спинки к центральным деталям подкладки спинки	Y/2	39,4	Comel FB/F/RU, Battistella URANO 98 Maxi
31	Притачать к левому боковому срезу маркировку	M/2	15,0	Juki DDL-5600NJ-7
32	Стачать боковые срезы подкладки переда и подкладки спинки	M/3	109,4	Juki DDL-5600NJ-7
33	Разутюжить боковые швы подкладки переда и спинки	Y/2	38,0	Comel FB/F/RU, Battistella URANO 98 Maxi
Сборка				
34	Притачать подкладку к корсету по верхнему срезу.	M/3	215,1	Juki DDL-5600NJ-7
35	Настрочить припуск шва притачивания подкладки к корсету по верхнему срезу на подкладку	M/4	220,0	Juki DDL-5600NJ-7
36	Притачать подкладку к корсету по нижнему, центральному левому и центральному правому припуску, оставляя в центральном правом припуске техническое отверстие	M/3	161,3	Juki DDL-5600NJ-7
37	Вывернуть корсет	P/2	30,0	-
38	Застрочить техническое отверстие	M/2	10,0	Juki DDL-5600NJ-7
Окончательная отделка				
39	Чистка готового изделия	P/2	25,0	-
40	Окончательная утюжка готового изделия	Y/3	15,0	Comel FB/F/RU, Battistella URANO 98 Maxi
41	Застегивание крючков	P/1	12,0	-
42	Комплектовка по маршрутным листам	P/1	11,0	-
43	Упаковка готового корсета	P/2	20,0	-
	Σ		2975,32	

Анализ справочника технологических операций по изготовлению корсета женского с декоративными дублирующими элементами из термопластичного полимера подтверждает целесообразность использования объемных деталей из полимера на этапе дублирования – это не требует глобальной реорганизации технологического процесса.

Граф технологического процесса изготовления корсета женского с декоративными дублирующими элементами из термопластичного полимера представлен в Приложении Б. Граф состоит из круглых ячеек, в которых указаны: номер технологической операции, специальность/разряд, класс оборудования и время технологической операции.

Современное оборудование имеет длинное название класса, поэтому вводятся сокращения:

- П/У Type Special I-P5/16A – TS;
- Juki DDL-5600NJ-7 – JD;
- AUTOSEW BK-510B – AB;
- Comel FB/F/RU, Battistella URANO 98 Maxi – SF.

На рисунке 3.7 представлен внешний вид экспериментального образца корсета женского с декоративными дублирующими элементами из термопластичного полимера, изготовленный на основании справочника технологических операций.

Объемные элементы из полимера в корсете женском расположены по всей площади корсета, для повышения жесткости и прочности изделия, предотвращения деформации во время эксплуатации, увеличения срока службы изделия до физического износа ткани и создания комфортного состояния пододежного пространства за счет орнамента объемных элементов, которые обеспечивают гигроскопичность и воздухопроницаемость.



Рисунок 3.7 – Экспериментальный образец корсета женского с декоративными дублирующими элементами из термопластичного полимера

Объемные элементы из полимера можно также использовать в других швейных изделиях. К примеру, в блузке женской, объемные элементы из полимера могут быть расположены на участках, которым необходима повышенная жесткость, это: верхний воротник, внешняя стойка воротника, внешняя планка и манжеты. На рисунке 3.8 представлен технический эскиз блузки женской с декоративными дублирующими элементами из термопластичного полимера.

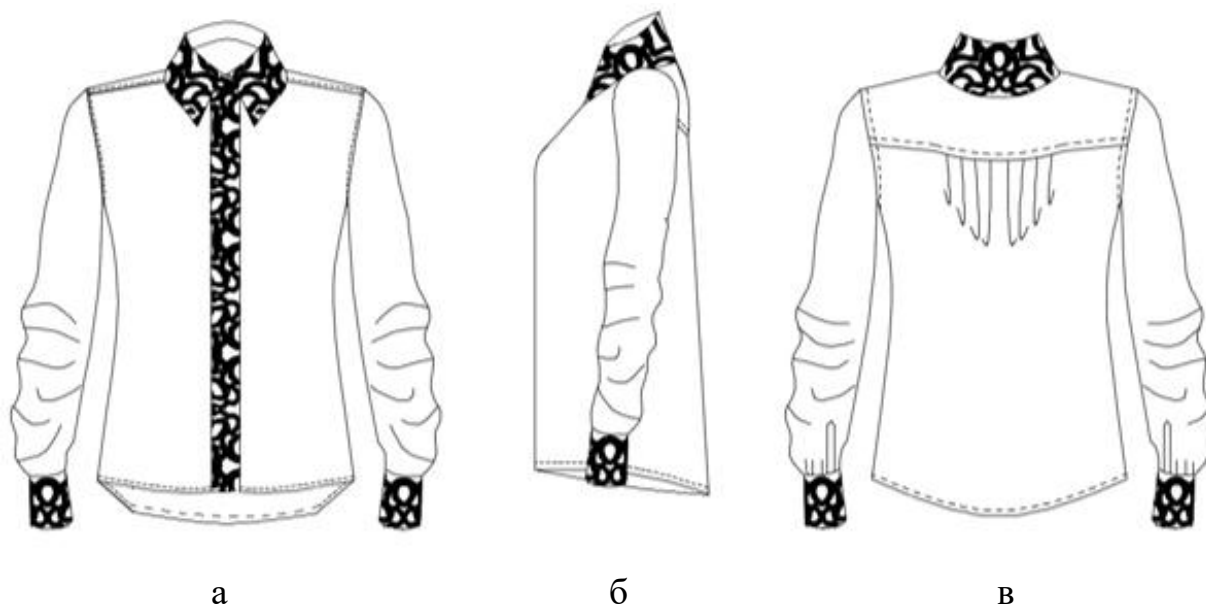


Рисунок 3.8 – Технический эскиз блузки женской с декоративными дублирующими элементами из термопластичного полимера, где: а – вид спереди, б – вид сбоку, в – вид сзади

В таблице 3.2 представлен справочник технологических операций по изготовлению блузки женской с декоративными дублирующими элементами из термопластичного полимера.

Таблица 3.2 – Справочник технологических операций по изготовлению блузки женской с декоративными дублирующими элементами из термопластичного полимера

№ п/п	Наименование технологической операции	С/Р	Затрата времени, с	Оборудование
1	2	3	4	5
Заготовка				
1	Проверить наличие деталей кроя и соответствующих объемных элементов из термопластика	Р/2	58,0	-
Декоративное дублирование				
2	Продублировать верхний воротник соответствующим объемным элементом из термопластичного полиуретана	П/2	40,0	Пресс VMA-WJ38
3	Продублировать внешнюю стойку воротника соответствующим объемным элементом из термопластичного полиуретана	П/2	40,0	Пресс VMA-WJ38

Продолжение таблицы 3.2

1	2	3	4	5
4	Продублировать планку на правой части переда соответствующим объемным элементом из термопластичного полиуретана	П/2	40,0	Пресс VMA-WJ38
5	Продублировать манжеты рукавов соответствующим объемным элементом из термопластичного полиуретана	П/2	40,0	Пресс VMA-WJ38
Обработка спинки				
6	Присборить верхний срез спинки по разметке	М/3	7,0	Juki DDL-5600NJ-7, лапка для сборки
7	Притачать кокетку и подкокетку к спинке	М/3	9,0	Juki DDL-5600NJ-7
8	Вывернуть спинку	Р/2	4,0	-
9	Заутюжить шов притачивания кокетки и подкокетки спинки	У/2	5,0	Comel FB/F/RU, Battistella URANO 98 Maxi
10	Проложить отделочную строчку по кокетке спинки	М/3	7,0	Juki DDL-5600NJ-7
Обработка плечевых срезов				
11	Стачать плечевые срезы переда и плечевые срезы подкокеток	М/3	10,0	Juki DDL-5600NJ-7
12	Вывернуть ЧИЗ	Р/2	6,0	Спецкошелек
13	Заутюжить плечевые швы в сторону подкокетки	У/2	8,0	Comel FB/F/RU, Battistella URANO 98 Maxi
14	Настрочить плечевые срезы кокетки с плечевыми срезами переда с одновременным подгибанием края внутрь	М/4	15,0	Juki DDL-5600NJ-7
15	Приутюжить плечевые срезы	У/2	8,0	Comel FB/F/RU, Battistella URANO 98 Maxi
Обработка манжет				
16	Заутюжить манжеты рукавов по линии сгиба	У/2	6,0	Comel FB/F/RU, Battistella URANO 98 Maxi
17	Заутюжить верхние срезы внутренних частей манжет по разметке	У/2	6,0	Comel FB/F/RU, Battistella URANO 98 Maxi
18	Обтачать концы манжет	М/2	7,0	Juki DDL-5600NJ-7
19	Высечь уголки обтачивания концов манжет	Р/2	10,0	Ножницы
20	Вывернуть и выправить манжеты	Р/2	15,0	Спецкошелек
21	Приутюжить манжеты	У/2	8,0	Comel FB/F/RU, Battistella URANO 98 Maxi
Заготовка и сборка рукавов				
22	Стачать складки по срезам низа рукавов	М/3	25,0	Juki DDL-5600NJ-7
23	Наметить линию разрез рукавов	Р/2	10,0	Мел, лекало

Продолжение таблицы 3.2

1	2	3	4	5
24	Надрезать рукава по намеченной линии	P/2	5,0	Ножницы
25	Окантовать нижние срезы разрезов рукавов косой бейкой	M/3	23,0	Juki DDL-5600NJ-7, лапка
26	Заутюжить планки рукавов	У/3	8,0	Comel FB/F/RU, Battistella URANO 98 Maxi
27	Притачать короткие срезы планок к верхним срезам разрезов рукавов	M/3	14,0	Juki DDL-5600NJ-7
28	Отвернуть и настрочить планки на рукава	M/4	25,0	Juki DDL-5600NJ-7
29	Приутюжить узел	У/2	10,0	Comel FB/F/RU, Battistella URANO 98 Maxi
Обработка воротника				
30	Заутюжить нижний срез стойки верхнего воротника	У/3	8,0	Comel FB/F/RU, Battistella URANO 98 Maxi
31	Настрочить фирменный знак на стойку верхнего воротника	M/2	10,0	Juki DDL-5600NJ-7
32	Обтачать верхний воротник нижним по отлету	M/4	16,0	Juki DDL-5600NJ-7
33	Вывернуть отлет воротника	P/2	4,0	Спецкошелек
34	Настрочить припуск обтачивания на нижний воротник	M/4	8,0	Juki DDL-5600NJ-7
35	Приутюжить узел	У/3	10,0	Comel FB/F/RU, Battistella URANO 98 Maxi
36	Обтачать концы воротника	M/3	15,0	Juki DDL-5600NJ-7
37	Высечь припуски на пересечении отлета с углами воротника	P/2	7,0	Ножницы
38	Вывернуть и выправить воротник	P/3	14,0	Спецкошелек
39	Приутюжить узел	У/3	5,0	Comel FB/F/RU, Battistella URANO 98 Maxi
40	Втачать отлет воротника в стойку воротника	M/4	28,0	Juki DDL-5600NJ-7
41	Вывернуть ЧИЗ	P/2	5,0	Спецкошелек
42	Приутюжить ЧИЗ	У/3	8,0	Comel FB/F/RU, Battistella URANO 98 Maxi
43	Проверить симметричность воротника	P/2	10,0	Лекало
Обработка стана				
44	Втачать рукава в проймы	C/4	15,0	Juki MS-1190/V046
45	Приутюжить шов втачивания рукавов в проймы	У/3	10,0	Comel FB/F/RU, Battistella URANO 98 Maxi
46	Стачать боковые срезы переда с боковыми срезами спинки и нижние срезы рукавов	C/4	35,0	Juki MS-1190/V046

Окончание таблицы 3.2

1	2	3	4	5
47	Приутюжить узел	У/3	30,0	Comel FB/F/RU, Battistella URANO 98 Maxi
48	Притачать верхние срезы манжет к срезам низа рукавов	М/3	30,0	Juki DDL-5600NJ-7
49	Заутюжить швы притачивания манжет к низу рукавов в сторону манжет	У/3	10,0	Comel FB/F/RU, Battistella URANO 98 Maxi
50	Настрочить нижние срезы манжет на рукава	М/4	25,0	Juki DDL-5600NJ-7
51	Обработать срез низа блузы женской швом вподгибку с закрытым срезом	М/4	15,0	Juki DDL-5600NJ-7
52	Приутюжить шов обработки низа изделия	У/3	5,0	Comel FB/F/RU, Battistella URANO 98 Maxi
53	Заутюжить планки переда по разметке	У/3	15,0	Comel FB/F/RU, Battistella URANO 98 Maxi
54	Настрочить планки	М/4	10,0	Juki DDL-5600NJ-7
55	Приутюжить планки	У/3	8,0	Comel FB/F/RU, Battistella URANO 98 Maxi
56	Втачать воротник в горловину по стойке нижнего воротника	М/4	25,0	Juki DDL-5600NJ-7
57	Настрочить стойку верхнего воротника на стойку нижнего воротника по нижнему краю, строчку проложить близко к строчке втачивания воротника в горловину	М/4	30,0	Juki DDL-5600NJ-7
Окончательная обработка изделия				
58	Настрочить ленту состава и методов ухода за изделием на левый боковой шов по разметке, ниже линии талии на 10,0 см	М/2	5,0	Juki DDL-5600NJ-7
59	Наметить на планках переда, стойки воротника, манжетах и планках рукавов места расположения пришивных кнопок	Р/3	35,0	Мел, лекало
60	Пришить кнопки по разметке	С/5	45,0	Brother KE-430
61	Застегнуть кнопки	Р/1	15,0	-
62	Окончательное ВТО изделия	У/3	30,0	Comel FB/F/RU, Battistella URANO 98 Maxi
63	Комплектовка по маршрутным листам	Р/1	11,0	-
64	Упаковка готовой блузы	Р/2	25,0	-
	Σ		1046,0	

Граф технологического процесса изготовления блузки женской с декоративными дублирующими элементами из термопластичного полимера представлен в Приложении Г. Граф состоит из круглых ячеек, в которых указаны:

номер технологической операции, специальность/разряд, класс оборудования и время технологической операции.

Современное оборудование имеет длинное название класса, поэтому вводятся сокращения:

- Пресс VMA-WJ38 – WJ;
- Juki DDL-5600NJ-7 – JD;
- Juki MS-1190/V046;
- Comel FB/F/RU, Battistella URANO 98 Maxi – SF.

На рисунке 3.9 представлен экспериментальный образец блузки женской с декоративными дублирующими элементами из термопластичного полимера, изготовленный на основании справочника технологических операций.



Рисунок 3.9 – Внешний вид экспериментального образца блузки женской с декоративными дублирующими элементами из термопластичного полимера

Изготовление экспериментальных образцов корсета женского и блузки женской с декоративными дублирующими элементами из термопластичного полимера показала возможность изготовления такой одежды без переоснащения оборудования и значительных изменений технологического процесса. Однако внедряемые инновации должны обеспечивать выпуск качественной продукции, имеющей длительный срок эксплуатации. В связи с этим следующий этап исследования был направлен на оценку качества экспериментальных образцов женской одежды и их эксплуатационных характеристик. Результаты оценки представлены в Главе 4.

3.4 Рекомендации по технологии соединения текстильного материала и объемных элементов из термопластичного полимера при помощи прессов

На основе проведенных практических экспериментов, представленных в главе 2 и 3 разработаны рекомендации по технологии соединения текстильного материала, и декоративных дублирующих элементов из термопластичного полимера при помощи прессов:

1. Текстильный материал, который будет подвержен процессу адгезии с объемным элементом из термопластичного полимера, должен иметь пористую структуру, вес 200-210 г/м² и небольшой ворс на поверхности.
2. Текстильный материал должен быть подобран согласно температуре плавления полимера.
3. Поверхность пресса должна быть равномерно нагрета до 240°C.
4. При использовании механического пресса давление должно быть установлено строго, что требует проверки на запасных деталях и образцах.
5. Время прессования должно быть установлено в зависимости от толщины объемного элемента из термопластичного полимера (см. Глава 2).

6. При выборе толщины объемных элементов необходимо придерживаться показателей жесткости. Они варьируются от 15% до 30% при толщине объемных элементов от 0,25 мм до 3,0 мм.

7. При дублировании на ручном пресс лицом вниз укладываются объемные элементы из термопластичного полимера, а поверх них кладутся детали кроя и ткани.

8. При дублировании на проходном прессе необходимо выключить нижний нагрев, выложить объемные элементы из термопластичного полимера лицом вниз, сверху положить текстильный материал, затем включить ленту, которая будет транспортировать объекты под горячие валы. После процесса дублирования необходимо выкроить детали.

9. При дублировании деталей кроя на специальном прессе, имеющем объемные формы подушек, необходимо выложить объемные элементы из термопластика лицом вниз, сверху положить детали кроя из ткани. После процесса дублирования необходимо подрезать детали кроя (по необходимости).

При соблюдении перечисленных рекомендаций по технологии соединения текстильного материала и объемных элементов из термопластичного полимера при помощи прессов исключена усадка текстильного материала, изменение формы и размеров полимерного элемента, плохое качество адгезии соединения.

Рекомендации разработаны для применения как при индивидуальном, так и в массовом производстве швейных изделий с декоративными дублирующими элементами из термопластичного полимера.

Выводы по главе 3

1. Проведен анализ оборудования, которое возможно использовать для процесса декоративного дублирования. Определено, что для массового производства швейных изделий с объемными элементами из термопластичного полимера подойдет проходной пресс. Для фиксации деталей сложной формы рекомендовано использовать специальный пресс с объемными подушками. Для фиксации

небольших деталей в массовом и индивидуальном производстве рекомендовано использовать плоский пресс.

2. В зависимости от используемого оборудования разработаны два равноценных по трудоемкости способа декоративного дублирования деталей края швейного изделия с объемными элементами из термопластичного полимера: дублирование деталей края объемными элементами из термопластичного полимера при помощи плоского прессы или специальных прессов и дублирование ткани объемными элементами из термопластичного полимера при помощи проходного прессы.

3. Разработана обобщенная структура технологии изготовления швейных изделий с элементами объемной печати термопластичным полимером. Определены технологические этапы, из которых состоит обобщенная структура: раскрой, заготовка, декоративное дублирование, сборка, окончательная отделка.

4. Разработана технология изготовления швейных изделий с декоративными дублирующими элементами из термопластичного полимера, заключающаяся в использовании современных технологий 3D-печати для придания деталям края большей жесткости, формоустойчивости с одновременной декоративной отделкой, что способствуют снижению трудоемкости изготовления готовой продукции. Процесс адгезии объемного элемента из термопластичного полимера с текстильным материалом вынесен на участок декоративного дублирования деталей края во избежание существенной реорганизации технологического процесса.

5. Разработаны экспериментальные образцы корсета женского и блузки женской с применением декоративного дублирования полимерными деталями. В справочнике технологических операций и графе технологического процесса выделен участок декоративного дублирования.

6. На основе полученных практических данных разработаны рекомендации по технологии соединения текстильного материала, (100% лён, плотностью 210 г/м²), и объемных элементов из термопластичного полимера при помощи прессов, которые применимы как для индивидуального, так и для массового производства.

ГЛАВА 4. АСПЕКТЫ ВНЕДРЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ШВЕЙНЫХ ИЗДЕЛИЙ С ЭЛЕМЕНТАМИ ОБЪЕМНОЙ ПЕЧАТИ ТЕРМОПЛАСТИЧНЫМ ПОЛИМЕРОМ

Практическая значимость полученных теоретических данных о разработанной технологии изготовления швейных изделий с элементами объемной печати термопластичным полимером должна быть подтверждена промышленной апробацией опытных образцов, так как изготовление швейных изделий в массовом производстве требует особого внимания на все технологические процессы, чтобы на выходе получить высококачественное изделие, которое будет пользоваться спросом у потребителей.

Промышленная апробация позволяет оценить швейное изделие на технологичность и экономичность. В тоже время такая апробация дает возможность проанализировать подготовленность швейного производства к использованию аддитивных технологий.

Во время проведения промышленной апробации были изучены все технологические процессы и их особенности применительно к массовому производству, технологические и технико-экономические возможности использования технологии соединения текстильного материала, (100% лён) плотностью 210 г/м², и объемных элементов из термопластичного полимера при помощи прессов. Проанализирована эффективность внедрения технологии изготовления швейных изделий с объемными элементами из термопластика.

4.1 Промышленная апробация разработанной технологии изготовления швейных изделий с объемными дублирующими элементами из полимера при изготовлении корсета женского

Промышленная апробация корсета женского с объемными дублирующими элементами из полимера выполнена в производственных условиях компании ООО

«ОКБ Беркана». Данное производство имеет экспериментальный цех и полноценное производство, на котором работает 80 человек, из них 60 человек – швеи, 5 человек – портные, 2 человека – раскройщики, 4 человека – мастера потока, 1 технолог, 4 – ОТК, 2 кладовщика и 2 комплектовщика.

В зависимости от количества технологических операций в изделии швеи делятся на потоки, и к каждому потоку прикрепляется мастер потока, отвечающий за выпуск качественных изделий. Специалисты ОТК изолированы друг от друга и отвечают за проверку качества определенного потока. Так как детали кроя промаркированы, а технологические операции распределены между работниками и ведется учет, очень точно можно определить на каком участке возник брак и назначить ответственного за его устранение.

Перед началом запуска новой модели в массовое производство, образец прорабатывается в экспериментальном цехе и отшивается эталон-образец изделия. Поскольку технология изготовления корсета женского с объемными элементами из термопластика изначально была разработана для массового производства – изменения в лекалах не потребовались.

На производстве ООО «ОКБ Беркана» имеется механический плоский пресс Type Special I-P5/16A, рабочая площадь которого позволила за одну операцию продублировать все детали кроя из текстильного материала объемными элементами из термопластичного полимера. Технологические операции были распределены по технологическому процессу, что позволило засечь актуальное время производства для изготовления швейного изделия с объемными элементами из термопластика. Изготовленный образец-эталон представлен на рисунке 4.1.

Образец корсета женского с объемными элементами из термопластика изготовлен из льняной ткани (100% лён, плотностью 210 г/м²), объемные элементы из термопластика изготовлены из полимера EasyFlex TPU-A 95 толщиной 2,0 мм. Технологические параметры прессования: температура прессования – 240 °С, время прессования – 40 сек., механическое давление – 7 Па. В процессе изготовления выполнено фронтальное дублирование всех деталей кроя верха изделия.



Рисунок 4.1 – Образец-эталон корсета женского с объемными элементами из термопластика, изготовленный на производстве ООО «ОКБ Беркана»

Трудоемкость изготовления корсета женского с применением декоративного дублирования полимерными деталями составила 2975,32сек. По данным ООО «ОКБ Беркана» изготовление корсета женского с применением дублирующих термоклеевых прокладочных материалов, которые дополнительно простегиваются для образования формы, регилина и косточек составляет 43200,0сек. Из этих данных следует, что трудоемкость изготовления корсета женского с применением декоративного дублирования полимерными деталями в 14,5 раз меньше, чем у

корсета с применением дублирующих термоклеевых прокладочных материалов, что является весьма значительным результатом в условиях массового производства.

На основании промышленной апробации образца корсета женского с объемными дублирующими элементами из полимера доказана целесообразность использования объемных элементов из полимера в швейных изделиях в массовом производстве, поскольку их внедрение не требуют глобальной реорганизации технологического процесса и приводит к значительному снижению трудоемкости изготовления изделий. Апробация технологии изготовления корсета женского с объемными элементами из термопластика подтвердила технологичность предложенного процесса [157].

В Приложении Д представлен акт апробации технологии изготовления швейных изделий с объемными элементами из термопластика на производстве ООО «ОКБ Беркана».

При выполнении промышленной апробации возникла идея, что в случае, если корсет будет иметь только декоративную функцию, т.е. не будет утягивать фигуру, тогда декоративные объемные элементы из полимера могут быть выполнены разнотолщинными, что позволит придать изделию различную зональную жесткость, обеспечивая большую подвижность и эргономичность конструкции в целом. Однако использование разнотолщинных элементов из термопластика потребует разработки такой технологии их соединения с деталями кроя из текстильных материалов, при которой будет возможно либо устанавливать разную температуру нагрева на отдельных участках подушек (поверхности) пресса, либо выполнять разное по длительности воздействия прессование на зонах одной детали. Разработку метода адгезиционного соединения разнотолщинных объемных элементов из термопластика и текстильных материалов следует отнести к перспективам дальнейшего исследования в области использования объемной печати на 3D-принтере при производстве швейных изделий.

На основании проведенных теоретических и практических исследований зарегистрирован патент на полезную модель, который представлен в Приложении Е.

4.2 Промышленная апробация разработанной технологии изготовления швейных изделий с объемными дублирующими элементами из полимера при изготовлении блузки женской

Промышленная апробация блузки женской с объемными дублирующими элементами из полимера была выполнена в производственных условиях Дома Моды Валентина Юдашкина.

Дом Моды Валентина Юдашкина специализируется на производстве коллекций женской одежды pret-a-porter и couture. Коллекции pret-a-porter Дом Моды изготавливает на сторонних производствах, а коллекции couture, которые имеют множество драпировок, ручной работы в виде вышивки и многие другие декоративные отделки – изготавливают в экспериментальном цехе, состоящем из 26 человек. Экспериментальный цех Дома Моды Валентина Юдашкина состоит из 15 портных, 2 закройщиков, 5 вышивальщиц, 1 технолога, 1 комплектовщика и 2 кладовщиков.

Особенность технологической обработки блузки женской с объемными дублирующими элементами из полимера заключается в замене дублирующих термоклеевых материалов, расположенных в верхнем воротнике, внешней стойке воротника, планке и манжетах, на объемные элементы из термопластика. Дублирование деталей выполнялось за четыре операции, так как рабочая поверхность пресса, имеющегося в экспериментальном цеху, не позволяет продублировать все детали одновременно.

В экспериментальном цехе Дома Моды Валентина Юдашкина был отшит образец-эталон блузки женской с декоративными дублирующими элементами из полимера, представленный на рисунке 4.2.



Рисунок 4.2 – Образец-эталон блузки женской с декоративными дублирующими элементами из полимера, изготовленной в Доме Моды Валентина Юдашкина

Образец блузки женской с декоративными дублирующими элементами из термопластика изготовлен из ткани (100% лён, плотностью 210 г/м²), объемные элементы из термопластика изготовлены из полимера EasyFlex TPU-A 95 толщиной 2,0 мм. Технологические параметры прессования: температура прессования – 240° С, время прессования – 40 сек., механическое давление – 7 Па. В процессе изготовления выполнено фронтальное дублирование следующих деталей кроя: верхний воротник, внешняя стойка воротника, правая часть планки, манжеты рукавов.

Швейные изделия с объемными элементами из термопластика изготовлены из льняной ткани, поскольку она имеет совместимые температурные режимы с

термопластиком EasyFlex TPU-A 95, пористость структуры позволяет проникать термопластику между волокон и не отпечатываться на изнаночной стороне ткани, экспериментальные исследования изложены в Главе 2.

Трудоемкость изготовления блузки женской с применением декоративного дублирования полимерными деталями составила 1046,0 сек. По данным Дома Моды Валентина Юдашкина изготовление блузки подобного кроя с применением дублирующих термоклеевых прокладочных материалов составляет 1100,0 сек. Из чего сделан вывод, что трудоемкость изготовления блузки женской с применением декоративного дублирования полимерными деталями приблизительно равна времени изготовления блузки женской с применением дублирующих термоклеевых прокладочных материалов. Это обусловлено тем, что изменяется только дублирующий материал, а количество технологических операций и время изготовления изделия остается прежним.

Использование объемных элементов из термопластика, имеющих орнамент, в блузке женской на лицевой стороне ткани имеет функцию декорирования при одновременном дублировании, чем предлагаемая технология отличается от общепринятой технологии использования дублирующих материалов.

В Приложении Ж представлен акт апробации технологии изготовления швейных изделий с объемными элементами из термопластика в Доме Моды Валентина Юдашкина.

4.3 Оценка качества экспериментальных образцов женской одежды и их эксплуатационных характеристик

Качество продукции представляет собой материальную основу удовлетворения как личных, так и общественных потребностей людей, чем определяется его уникальная социально-экономическая значимость [158]. Перед покупкой потребитель оценивает не только эстетический вид, но и качество швейного изделия [159].

Для достижения высокого качества швейных изделий предприятия легкой промышленности проводят не только окончательный контроль качества, но и межоперационный. Методы контроля качества регламентируется ГОСТ 4103-82 [160].

Чтобы оценить качество экспериментальных образцов швейных изделий необходимо определиться с требованиями, предъявляемые к швейным изделиям с объемными элементами из термопластика. Швейные изделия являются одеждой для человека, которая контактирует с телом и создает определенный микроклимат, который должен обеспечивать нормальную жизнедеятельность человека, сохранять его работоспособность и здоровье [161]. Требования, предъявляемые к одежде, должны соответствовать комплексу взаимосвязей в системе «одежда-человек-окружающая среда».

Корсет женский и блузка женская с объемными элементами из термопластика разработаны для повседневного использования. Выбранный материал и цветовая гамма, в зависимости от применяемых аксессуаров, позволяют эксплуатировать изделия не только в повседневное время, а также на торжественные мероприятия. Изделия разработаны для женщин возрастной группы от 18 до 35 лет.

На основании требований, предъявляемых к качеству одежды, а также типовой номенклатуры потребительских показателей качества [162-164] составлена анкета для оценки качества экспериментальных образцов женской одежды и их эксплуатационных характеристик (Приложение Г).

Анкета для оценки качества экспериментальных образцов состоит из 18 вопросов. Сто респондентов должны были ответить на каждый вопрос по пятибалльной шкале, где оценка 5 (пять) является высшей оценкой. Целевая аудитория выбрана женская, так как именно женщины являются потребителями выбранных изделий.

Результаты потребительской оценки качества экспериментальных образцов швейных изделий с декоративными дублирующими элементами из термопластичного полимера следующие:

- представители первичной аудитории: женщины от 18 до 25 лет – 50%, от 26 до 35 лет – 35%; женщины от 36 до 45 лет – 15%, и от 46 и более лет лишь 2%;
- 70% опрошиваемых имеют подвижный образ жизни, 20% – среднеподвижный образ жизни и 10% имеют малоподвижный образ жизни;
- 80% опрошиваемых ответили, что имеют размер одежды в диапазоне от 46 до 48 размера;
- 95% потребителей оценили, что изделия полностью соответствуют модным тенденциям;
- на 98% потребителей швейные изделия с объемными элементами из термопластика произвели хорошее впечатление по критерию общей оценки качества изделий;
- маркировка, товарный знак и ярлыки полностью удовлетворили потребностей потребителей;
- 78% потребителей оценили, что смогут эксплуатировать изделия в повседневной носке, во всесезонный период;
- 95% потребителей подтвердили соответствие изделий функциональному назначению, размерной и полнотно-возрастной группе;
- применяемые материалы, отделка и фурнитура удовлетворили требования потребителей согласно назначению изделий;
- общее качество изделий оценено на высший балл, целостность и качество строчек не нарушены, объемные элементы не отслаиваются от ткани, объемные элементы имеют четкие линии, имеющие рапорт;
- блуза женская удобно застегивается на кнопки, для застегивания корсета женского понадобится дополнительная помощь;
- жесткость объемных элементов удовлетворила всех потребителей;
- рисунок объемных элементов также удовлетворил потребителей;
- данные изделия с объемными элементами из термопластика купили бы 78% потребителей.

На основании экспертной оценки потребителей сделан вывод, что швейные изделия с объемными элементами из термопластика будут иметь спрос на рынке сбыта.

Помимо опроса потребителей была проведена опытная носка экспериментальных образцов корсета женского и блузки тремя испытателями. В опытную носку входили:

- ношение изделий на протяжении 6 часов;
- стирка изделий вручную;
- влажно-тепловая обработка (блузка);
- транспортировка изделий в сложенном виде.

На основании проведенной опытной носки установлено следующее (табл. 4.1).

Таблица 4.1 – Результаты оценки опытной носки испытателями

Критерии оценки результатов опытной носки	Испытатель 1	Испытатель 2	Испытатель 3
Надежность фиксации объемных элементов из термопластика на ткани	+	+	+
Целостность объемных элементов из термопластика (наличие заломов, трещин, потеря фрагментов и т.п.)	+	+	+
Затрудняет ли наличие объемных элементов из термопластика стирку	-	-	+/-
Затрудняет ли наличие объемных элементов из термопластика влажно-тепловую обработку	-	-	-
Комфортность ношения изделий	+/-	+	+

Фиксация объемных элементов на ткани надежная, в процессе эксплуатации не нарушилась. Во время эксплуатации швейных изделий с объемными элементами из термопластика, объемные элементы не нарушаются, не появляются трещин или

заломов. Наличие объемных элементов из термопластика не затрудняет ухода за изделиями. Опытные образцы комфортны в эксплуатации.

По результатам опытной носки сделан вывод, что экспериментальные образцы пригодны для повседневной носки.

4.4 Методика внедрения новых материалов для 3D- печати в производство швейных изделий

Рынок материалов для 3D-печати в индустрии моды находится на пороге значительных изменений. Экологическая устойчивость, нанотехнологии, композитные материалы и персонализация будут ключевыми факторами, определяющими его развитие. Дизайнеры и производители, которые смогут эффективно использовать эти тенденции, получают значительное преимущество на рынке.

В будущем мы увидим, как 3D-печать продолжит трансформировать индустрию моды, делая её более инновационной, устойчивой и ориентированной на потребителя. А пока мы наблюдаем постоянное расширение ассортимента материалов, которые используют для 3D-печати. Эти материалы имеют различные физико-механические свойства и химический состав, в связи с чем у производителей одежды, которые решили использовать технологию 3D-печати на своих предприятиях, должно быть пошаговое руководство по внедрению новых материалов для объемной печати.

Опираясь на результаты диссертационного исследования и обобщая накопленный опыт, нами составлена методика внедрения новых материалов для 3D- печати в производство швейных, схематично представленная на рисунке 4.3.

Предлагаемая методика представляет собой последовательность шагов по оценке возможности внедрения нового материала для 3D-печати и разработке технологии производства швейных изделий с его использованием.

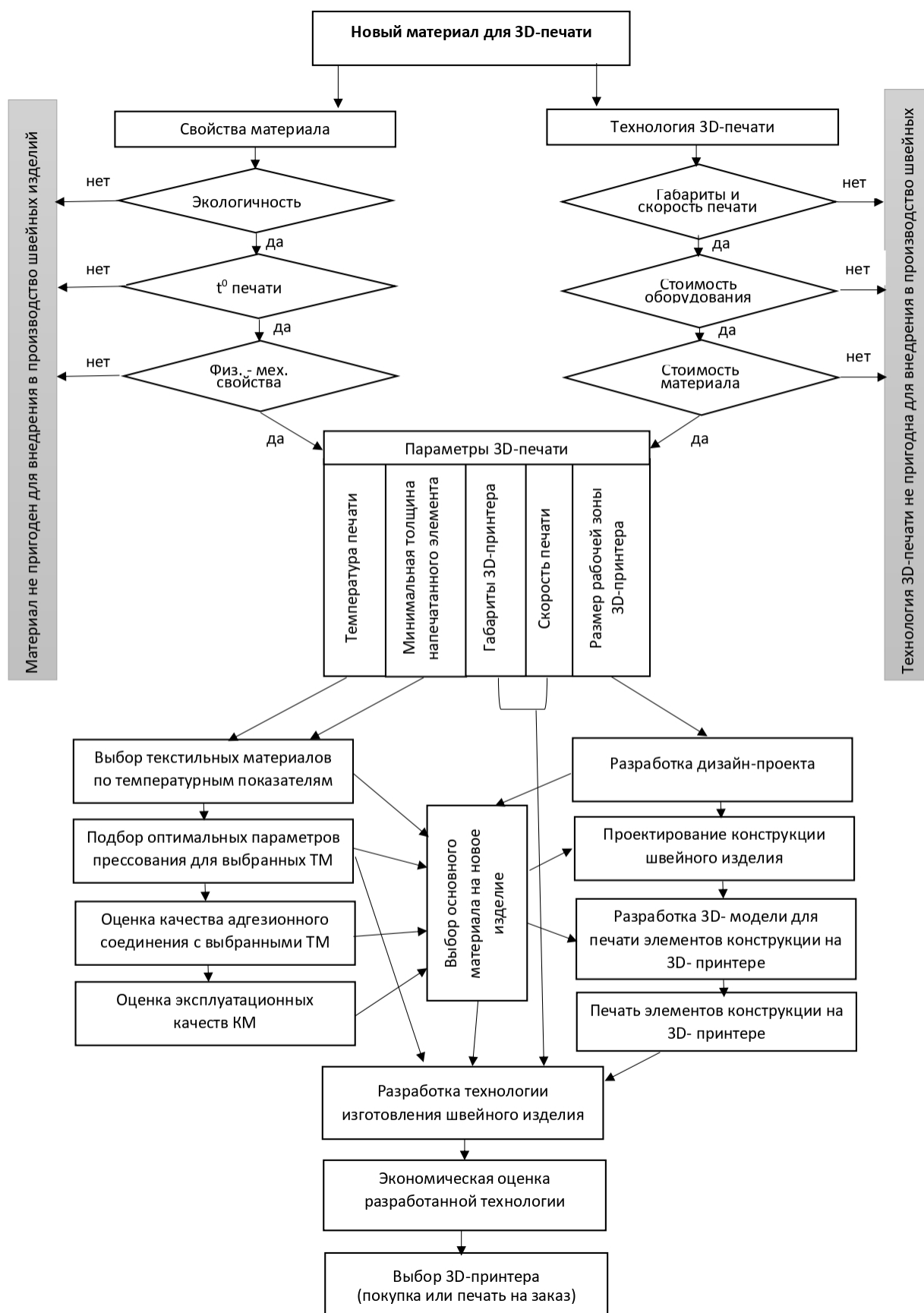


Рисунок 4.3 – Схематичное изображение методики внедрения новых материалов для 3D- печати в производство швейных изделий

Для внедрения любого нового материала в производство предметов одежды прежде всего необходимо оценить его свойства на соответствие требованиям, предъявляемым к одежным материалам, как минимум по трем ключевым параметрам:

1. Экологичность. Важно проанализировать возможные выбросы вредных веществ в процессе печати и эксплуатации изделий, а также влияние материала на окружающую среду на всех этапах его жизненного цикла – от производства до утилизации.

2. Физико-механические свойства. К ним относятся прочность, эластичность, износостойкость, устойчивость к истиранию и разрыву. Также важно учитывать такие параметры, как гибкость и способность материала сохранять форму после печати. Эти характеристики напрямую влияют на качество и долговечность готовых изделий. Возможно, с появлением принципиально новых видов материалов для 3D-печати, список физико-механических свойств, подлежащих оценке, будет расширен.

3. Температура печати: Этот параметр определяет условия, при которых материал может быть успешно использован для 3D-печати, что в свою очередь накладывает ограничения на технологию изготовления изделия в целом, а также влияет на выбор основного текстильного материала.

Только после тщательной оценки всех этих параметров можно сделать вывод о пригодности материала для использования в производстве одежды и определить области его наиболее эффективного применения.

После оценки свойств материала для 3D-печати следующим шагом является анализ габаритов оборудования, необходимого для печати. Размеры принтера должны соответствовать габаритам производственного помещения. А размер рабочей области принтера должен позволять выполнять печать деталей требуемых размеров за один цикл печати.

Стоимость оборудования для 3D-печати также играет важную роль при планировании производства. Цены на 3D-принтеры значительно варьируются в зависимости от их характеристик, таких как размер рабочей области, точность

печати, поддерживаемые технологии и материалы, скорость печати. Необходимо провести исследование рынка и выбрать оптимальное соотношение цены и качества, учитывая бюджет проекта и планируемый объём производства.

Кроме того, при внедрении новых материалов для 3D-печати стоит учесть их стоимость. Материалы могут быть представлены в виде нитей, порошка или жидкости, и их цена может значительно различаться в зависимости от типа и производителя. Также важно учитывать расход материалов на печать одного изделия и возможность повторного использования отходов.

Таким образом, анализ технологии 3D-печати, включающий оценку габаритов принтера, его стоимости и стоимости материалов для печати является важным этапом при внедрении 3D-печати в производство одежды. Это позволяет определить экономическую целесообразность проекта и спланировать бюджет на его реализацию.

Выбранное оборудование и материал определяют параметры 3D-печати:

- температуру печати;
- минимальную толщину напечатанного элемента;
- размер рабочей зоны 3D-печати;
- скорость печати;
- габариты принтера.

Перечисленные параметры оказывают влияние на разработку технологии производства швейных изделий с применением 3D-печати. Так температура печати и минимальная толщина напечатанного элемента влияют на выбор основного текстильного материала. Температура печати влияет на адгезию слоёв, качество печати и свойства готового изделия. Минимальная толщина напечатанного элемента определяет его детализацию. Однако слишком маленькая толщина слоя может привести к увеличению времени печати и снижению прочности изделия.

Зная температуру 3D-печати и минимальную толщину напечатанного элемента возможно:

- подобрать текстильные материалы, которые по температурным параметрам подходят для выполнения адгезионного соединения с выбранным материалом для 3D-печати;
- провести натурные исследования для подбора оптимальных параметров прессования для формирования надежного адгезионного соединения выбранных материалов;
- оценить качество адгезионного соединения выбранных текстильных материалов с внедряемым новым материалом для 3D-печати;
- оценить эксплуатационные качества полученных в результате адгезионного соединения композиционных материалов.

Перечисленные действия позволят выбрать текстильный материал для разработки технологии изготовления швейных изделий с применением нового материала для 3D-печати.

Размер рабочей зоны 3D-печати – это максимальный размер детали, которую можно напечатать на принтере. Размер рабочей зоны зависит от конструкции принтера и может варьироваться от нескольких сантиметров до нескольких метров. Размер деталей, которые возможно напечатать на выбранном 3D-принтере, напрямую влияет на разработку дизайн-проекта нового швейного изделия, в котором необходимо учесть какого размера будут использованы в конструкции изделия напечатанные элементы. Вместе с тем дизайн-проект также определяет выбор основного текстильного материала.

Имея дизайн-проект и отобрав материалы на новую модель швейного изделия, выполняется построение конструкции деталей проектируемого изделия из текстильных материалов. На основе полученной конструкции строятся конструкции элементов, которые будут распечатаны на 3D-принтере, при этом учитываются технологические особенности обработки этих элементов. Далее построенные конструкции преобразуются в 3D-модель, необходимую для распечатывания элементов на 3D-принтере.

При разработке технологии изготовления швейных изделий с использованием 3D-печати следует учитывать: скорость печати, габариты 3D-

принтера, форму и толщину напечатанных элементов, свойства текстильного материала и параметры прессования.

Внедрение новых материалов и технологий в производство швейных изделий требует проведения анализа затрат на оборудование и материалы, а также временных затрат на изготовление изделий, чтобы определить экономическую целесообразность использования 3D-печати для производства швейных изделий. Сравнение с традиционными методами производства поможет выявить преимущества и ограничения технологии.

Проектирование технологического процесса должно осуществляться на основе применения рациональных методов обработки швейных изделий. Для сравнительного анализа выбранных методов обработки необходимо дать экономическую оценку по показателям:

- снижение затрат времени (ПСЗВ);
- повышение производительности труда;
- повышение качества изготовления изделия.

Эффективность разработанной технологии заготовки, сборки заданных ЧИЗов/узлов и всего изделия в целом можно оценить по технико-экономическим показателям, которые рассчитываются на основании затрат времени по формированию узлов.

Повышение производительности труда и снижение затрат времени рассчитывают по формуле (4.1).

$$\text{ППТ} = (\text{Тс} - \text{Траз}) * 100 / \text{Траз} \quad (4.1),$$

где Тс – существующее время обработки ЧИЗа/узла; Траз – разработанное время обработки ЧИЗа/узла.

Снижение затрат времени рассчитают по формуле (4.2).

$$\text{СЗВ} = (\text{Тс} - \text{Траз}) * 100 / \text{Тс} \quad (4.2),$$

где Тс – существующее время обработки ЧИЗа/узла; Траз – разработанное время обработки ЧИЗа/узла.

Рассмотрим принцип экономической оценки технологии с применением 3D-печати на примере изготовления женского корсета и блузки.

Экономический расчет обработки корсета женского с объемными дублирующими элементами из полимера

$$\text{ППТ} = (43\,200 - 2\,975,32) * 100 / 2\,975,32 = 1\,351,94 \text{ сек.}$$

$$\text{СЗВ} = (43\,200 - 2\,975,32) * 100 / 43\,200 = 93,11 \text{ сек.}$$

Экономический расчет обработки блузки женской с объемными дублирующими элементами из полимера

$$\text{ППТ} = (1\,100 - 1\,046,0) * 100 / 1\,046,0 = 5,16 \text{ сек.}$$

$$\text{СЗВ} = (1\,100 - 1\,046,0) * 100 / 1\,100 = 4,9 \text{ сек.}$$

Из расчетов очевидно, что у технологии изготовления швейных изделий с объемными дублирующими элементами из полимера повышается производительность труда и понижаются затраты времени на обработку по сравнению с ранее использованной технологией. Это связано с тем, что использование объемных элементов из полимера привело к сокращению пакета материалов и технологических операций при сохранении качества.

Технико-экономические показатели проектируемых методов изготовления корсета женского и блузки женской с объемными дублирующими элементами из полимера определены путем сравнения с существующей технологией обработки, представленных предприятиями легкой промышленности (табл. 4.2).

Таблица 4.2 – Показатели эффективности выбранных методов

№ п/п	Наименование изделия	Тс., сек	Траз, сек.	СЗВ		ППТ, % по изделию	Трудо-емкость в раз.
				сек.	%		
1	Корсет женский с объемными дублирующими элементами из полимера	43 200,00	2 975,32	- 40 224,68	93,11	1 351,94	14,5
2	Блузка женская с объемными дублирующими элементами из полимера	1 100,00	1 046,00	- 54,00	4,9	5,16	1,05

На основе анализа расчета технико-экономических показателей процесса изготовления корсета и блузки женских с объемными дублирующими элементами из полимера сделан вывод, что трудоемкость изготовления корсета женского с применением декоративного дублирования полимерными деталями на 40 224,68 сек. меньше, чем у корсета с применением дублирующих термоклеевых прокладочных материалов, что является весьма значительным результатом в условиях массового производства. Трудоемкость изготовления блузки женской с применением декоративного дублирования полимерными деталями приблизительно равна времени изготовления блузки женской с применением дублирующих термоклеевых прокладочных материалов, но отличается на 54,0 сек. в меньшую сторону. Это обусловлено тем, что изменяется только дублирующий материал, а количество технологических операций и время изготовления изделия остается прежним.

Однако при внедрении любой новой технологии всегда встает вопрос о том, окупится ли покупка нового оборудования. По стоимости представленные в настоящее время 3D-принтеры весьма различны. Сравнительная характеристика 3D-принтеров по технологическим и стоимостным параметрам представлена в Приложении 3.

При внедрении технологии 3D-печати у предприятия есть два варианта: покупка 3D-принтера или размещение заказа на печать полимерных элементов в сторонних организациях и производствах. Рассмотрим на конкретном примере выбор варианта.

Предприятие, изготавливающее женскую одежду, решило запустить в производство по одной модели корсета женского и блузки женской с объемными дублирующими элементами. Для изготовления объемных элементов в массовом производстве предварительно выбран 3D-принтер Stratech 500 [165], рабочая площадь печати которого составляет 500×500×700 мм, а гарантия производителя – 12 месяцев. Данная модель 3D-принтера ориентирована на аддитивное производство в промышленных масштабах. Стоимость принтера на 2025 год составляет 695 880 руб. Стоимость комплекта объемных элементов для

изготовления одного женского корсета с объемными дублирующими элементами из полимера EasyFlex TPU-A 95, с учетом печати на 3D-принтере StrateX 500 составляет 799,96 руб. При стоимости 3D-принтера в 695 880 руб. и стоимости комплекта объемных элементов в 799,96 руб., для полной окупаемости 3D-принтера должно быть выпущено 870 комплектов объемных элементов – этот объем может быть изготовлен за 15,8 рабочих смен при выпуске 55 комплектов в смену. А для изготовления блузки женской с объемными дублирующими элементами в 177,5 руб., для полной окупаемости 3D-принтера должно быть выпущено 3 920 комплектов объемных элементов – этот объем может быть изготовлен за 38 рабочих смен при выпуске 104 комплекта в смену. Из приведенных данных очевидно, что для запуска в производство экспериментальных партий товаров с использованием объемных полимерных элементов целесообразно заказывать их печать на 3D-принтере у сторонних организаций. Например, если заказать печать малых партий полимерных элементов у компании REC [166], то комплект объемных элементов для корсета женского составляет 1 700 руб. за комплект, что в 2,1 раз выше, чем печать на собственном 3D-принтере, а для блузки женской – составляет 500 руб. за комплект, что в 2,8 раз выше.

Таким образом можно сделать вывод, что для производственных масштабов целесообразно покупать стационарный 3D-принтер, а для печати малых партий, где и стоимость изделий может быть выше – заказывать услугу по печати объемных элементов у сторонних производств.

Расчет калькуляции на единицу изделия

Себестоимость продукции формируется из суммы затрат времени на изготовление продукции, использованных материалов и трудоемкости. Себестоимость указывается в двух документах: смете затрат на производство и калькуляции. Во время расчета калькуляции на единицу изделия затраты рассчитываются на производство и реализацию одной единицы продукции.

Для расчета себестоимости основных и вспомогательных материалов, включая полуфабрикаты и комплектующие изделия необходимо составить таблицу,

в которой указан полный перечень основных и вспомогательных материалов (табл. 4.3).

Таблица 4.3 – Расчет стоимости основных и вспомогательных материалов

Наименование материала	Ед. измерения	Норма расхода, на 1 ед.	Цена за ед., руб.	Сумма затрат на ед., руб.
1	2	3	4	5
Корсет женский с объемными дублирующими элементами из полимера				
Основной	м	0,45	494,7	222,62
Подкладочный	м	0,35	150,0	52,5
3D-элемент	шт.	14,0	57,14	799,96
Нитки	м	26,91	0,05	1,35
Крючок пришивной	шт.	13	1,23	15,99
Маркировка (фирменный знак)	шт.	1	3,14	3,14
Маркировка (размерная лента)	шт.	1	0,75	0,75
Пакет упаковочный	шт.	1	3,87	3,87
Клеевой стикер на пакет	шт.	1	2,6	2,6
Итого:				1 102,78
Блузка женская с объемными дублирующими элементами из полимера				
Основной	м	1,1	494,7	543,84
3D-элемент	шт.	5	35,5	177,5
Нитки	м	54,1	0,05	2,7
Кнопка пришивная, d=20 мм	шт.	6	3,0	18,0
Кнопка пришивная, d=15 мм	шт.	4	2,0	8,0
Маркировка (фирменный знак)	шт.	1	3,14	3,14
Маркировка (размерная лента)	шт.	1	0,75	0,75
Пакет упаковочный	шт.	1	4,08	4,08
Клеевой стикер на пакет	шт.	1	2,6	2,6
Итого:				760,61

Цена за единицу материала принята по данным поставщиков. Реализуемые отходы принимаются в размере 0,1-0,2% от стоимости основного материала.

Расчет реализуемых отходов корсета: $222,62 - 0,34 = 222,28$ руб.

Расчет реализуемых отходов блузки: $543,84 - 0,81 = 534,03$ руб.

Транспортно-заготовительные расходы принимаются в размере 5-10% от стоимости всех материалов, необходимых для изготовления:

- для корсета: $1\,102,78 + 77,2 = 1\,179,98$ руб.;
- для блузки: $760,61 + 53,24 = 813,85$ руб.

Основная и дополнительная заработная плата технологическим рабочим рассчитывается по формуле (4.3).

$$ЗП_{\text{техн.раб.}} = \frac{\Phi OT_{\text{дн.техн.раб.}}}{Q_{\text{дн.}}} \quad (4.3),$$

где $\Phi OT_{\text{дн.техн.раб.}}$ – фонд заработной платы технологических рабочих; $Q_{\text{дн.}}$ – дневной выпуск продукции.

Согласно справочнику технологических операций, общая трудоемкость изготовления корсета женского с объемными дублирующими элементами из полимера составила 2 975,32 сек. Из них: 23 сек. – использует швея первого разряда, 828,12 сек. – использует швея второго разряда, 1 709,8 сек. – швея третьего разряда и 414,4 сек. – швея четвертого разряда.

Если минимальный размер оплаты труда по МРОТу составляет 22 440 руб. по Москве, тогда количество рабочих часов в месяц составит 160 часов.

Расчет секундной тарифной ставки швеи первого разряда (СТС1р) выполняется по формуле (4.4).

$$СТС1р = \frac{МРОТ}{t_m} * K_T \quad (4.4),$$

где t_m – общее время работы в месяц; K_T – тарифный коэффициент швеи (табл.4.4).

Таблица 4.4 – Тарифный коэффициент швеи

Разряд	Кт
1	1,0
2	1,30
3	1,55
4	1,74
5	1,90

$$\text{СТС1р} = \frac{22440}{160 * 3600} * 1 = 0,039 \text{ руб.}$$

$$\text{СТС2р} = \frac{22440}{160 * 3600} * 1,30 = 0,051 \text{ руб.}$$

$$\text{СТС3р} = \frac{22440}{160 * 3600} * 1,55 = 0,060 \text{ руб.}$$

$$\text{СТС4р} = \frac{22440}{160 * 3600} * 1,74 = 0,068 \text{ руб.}$$

$$\text{СТС5р} = \frac{22440}{160 * 3600} * 1,90 = 0,074 \text{ руб.}$$

Таким образом для изготовления корсета женского с объемными дублирующими элементами из полимера, швеи первого разряда необходимо выплатить 0,9 руб., швеи второго разряда необходимо выплатить 42,23 руб., швеи третьего разряда – 102,59 руб., швеи четвертого разряда – 28,18 руб. Общая стоимость изготовления изделия составила 173,9 руб.

Для изготовления блузки женской с объемными дублирующими элементами из полимера, швеи первого разряда необходимо выплатить 1,014 руб., швеи второго разряда необходимо выплатить 19,99 руб., швеи третьего разряда – 20,16 руб., швеи четвертого разряда – 16,80 руб., швеи пятого разряда – 3,33 руб. Общая стоимость изготовления изделия составила 61,3 руб.

Полная заработная плата за изготовления одного швейного изделия рассчитывается по формуле (4.5).

$$\text{ЗПтехн.раб.полная} = \text{ЗПтехн.раб.} + \text{Пр} \quad (4.5),$$

где ЗПтехн.раб. – заработная плата технологических рабочих; Пр – премия в размере 30-70% от ЗПтехн.раб.

Для корсета женского с объемными дублирующими элементами из полимера:

$$\text{Пр} = 173,9 * 50 / 100 = 86,95 \text{ руб./1ед.}$$

$$\text{ЗПтехн.раб.полная} = 173,9 + 86,95 = 260,85 \text{ руб./1ед.}$$

Для блузки женской с объемными дублирующими элементами из полимера:

$$\text{Пр} = 61,3 * 50 / 100 = 30,65 \text{ руб./1ед.}$$

$$\text{ЗПтехн.раб.полная} = 61,3 + 30,65 = 91,95 \text{ руб./1ед.}$$

Расчет страховых взносов определяется в размере 30% от основной и дополнительной заработной платы, но с учетом выплат по результатам работы за год.

$$\text{СВкорсета} = 260,85 * 30 / 100 = 78,26 \text{ руб.}$$

$$\text{СВблузки} = 91,95 * 30 / 100 = 27,58 \text{ руб.}$$

В таблице 4.5 представлена калькуляция себестоимости швейных изделий с объемными элементами из полимера.

Таблица 4.5 – Калькуляция себестоимости швейных изделий с объемными элементами из полимера

Наименование статьи затрат	Корсет женский, руб.	Блузка женская, руб.
Основные и вспомогательные материалы	1 102,78	760,61
Реализуемые отходы	0,34	0,81
Транспортно-заготовительные расходы	77,2	53,24
Полная заработная плата работников	260,85	91,95
Страховые взносы	78,26	27,58
Итого:	1 518,75	932,57

Рентабельность рассчитывается по формуле (4.6).

$$\text{Рентабельность} = \text{Прибыль} / \text{Себестоимость} * 100\% \quad (4.6)$$

Согласно анализу рынка, продажная стоимость корсета женского с объемными элементами из полимера в средней ценовой категории может составить 7 500 руб.

Рентабельность для корсета = $5\,981,25/1518,75 \cdot 100 = 394\%$

Согласно анализу рынка, продажная стоимость блузки женской с объемными элементами из полимера в средней ценовой категории может составить 5 800 руб.

Рентабельность для блузки = $4\,867,43/932,57 \cdot 100 = 521,94\%$

В условиях современной экономической ситуации, для получения прибыли, рентабельность швейных изделий должна быть в 3 раза выше, чем его себестоимость из-за нестабильных цен на сырье и материалы. За счет изменения рисунка и толщины объемных элементов возможно расширить модельный ряд без реорганизации технологического процесса, обеспечив максимальную удовлетворенность потребителей, а при условии индивидуального проектирования орнаментального решения возможно создавать эксклюзивные кастомизированные изделия. В этом случае швейные изделия с объемными элементами из полимера могут быть реализованы в высокой ценовой категории, тогда рентабельность будет выше.

Проведенный экономический анализ доказал целесообразность внедрения технологии 3D-печати полимерными материалами в производство швейных изделий, поскольку:

- использование объемных элементов из полимера привело к сокращению пакета материалов и технологических операций при сохранении качества;
- уменьшилась сложность технологических операций, что привело к снижению оплаты труда согласно тарифным коэффициентам;
- повысилась производительность труда и сократились затраты времени на обработку по сравнению с классической технологией изготовления швейных изделий;
- при массовом производстве 3D-принтер окупается достаточно быстро, а малые партии объемных элементов возможно заказывать у сторонних организаций.

Таким образом, проведенный экономический анализ доказал целесообразность внедрения технологии 3D-печати полимерными материалами в

производство швейных изделий. Однако внедрение новых материалов и технологий 3D-печати в производство одежды требует тщательной оценки их свойств, включая экологичность и физико-механические характеристики, а также затраты на приобретение нового оборудования.

4.5 Разработка рекомендаций для массового производства швейных изделий с полимерными элементами различного функционального назначения

В эру цифровизации и автоматизации каждое из производств старается сократить расходную часть, заменив стандартные технологические процессы автоматизированными. Предприятия легкой промышленности страдают от нехватки швей – это приводит к использованию автоматизированного и шаблонного оборудования.

Промышленная апробация образцов корсета женского и блузы женской с объемными элементами из термопластика доказала целесообразность и перспективу внедрения термопластов в производство швейных изделий.

Объемные элементы из термопластика могут быть использованы в изделиях бытового и спортивного назначения, а также в спецодежде. Ведомственные изделия, как правило, строго регламентируются техническими условиями и сроком эксплуатации. Для ведомственных изделий использование объемных элементов из термопластика нецелесообразно. Национальная одежда изготавливается по мотивам и технологиям прошлых веков с соблюдением множества правил. Использование объемных элементов из термопластика в национальной одежде нарушает технологию изготовления швейных изделий и саму принадлежность к национальной одежде, однако при создании стилизованной или сценической одежды использование термопластиков может значительно упростить процесс производства.

В изделиях бытового назначения объемные элементы из термопластика могут быть использованы в качестве объемных декоративных дублирующих элементов,

расположенных на деталях кроя, требующих дополнительной жесткости, вместо дублирина или флизелина при одновременном декорировании изделий.

Использования объемных элементов из термопластика в спортивных изделиях рекомендуем для создания дополнительного компрессионного эффекта при одновременном декорировании изделия. Объемные элементы из термопластика могут быть напечатаны на 3D-принтере специальным материалом, который будет контролировать состояние тела человека, передавать дополнительные импульсы и медикаменты к телу человека.

В спецодежде объемные элементы из термопластика могут быть использованы в качестве накладок на области, требующие дополнительной защиты от удара, истирания, механических воздействий, растяжения и деформации.

Проанализировав результаты практических испытаний экспериментальных образцов, разработанных в рамках данной диссертационной работы, составлен перечень функций, которые могут выполнять в швейном изделии объемные элементы из полимеров, напечатанные на 3D-принтере: зональное повышение жесткости, предотвращение деформации в процессе производства и эксплуатации, предотвращение растяжения, защита от истирания и других механических повреждений, декорирование, зональное дублирование (замена клеевых прокладочных материалов), увеличение срока эксплуатации. В таблице 4.6 указаны функции объемных элементов из полимеров в зависимости от ассортимента швейных изделий.

Из таблицы видно, что использование объемных элементов из полимеров в швейных изделиях может улучшить и расширит комплекс потребительских свойств, предъявляемых к одежде при одновременном декорировании.

За счет изменения орнамента объемных элементов из термопластика расширяется и ассортимент швейных изделий без реорганизации технологического процесса. Использование объемных элементов из термопластика целесообразно там, где возможно получить сразу два и более улучшенных потребительских свойства одновременно от соединения текстильного материала и объемного напечатанного элемента.

Таблица 4.6 – Функции в швейном изделии объемных элементов из полимеров, в зависимости от ассортимента

Наименование ассортимента	Функции объемных элементов из термопластика						
	Зональное повышение жесткости	Предотвращение деформации	Предотвращение растяжения	Защита от механических повреждений	Декорирование	Зональное дублирование (замена клеевым прокладочным	Увеличение срока
Повседневная одежда	+	+	+		+	+	+
Спортивная одежда	+	+		+	+		+
Одежда специального назначения	+	+		+		+	+
Корсетные изделия	+	+	+		+	+	
Головные уборы	+				+	+	+

Обобщая результаты проведенных исследований разработаны рекомендации для массового производства швейных изделий с полимерными элементами различного функционального назначения, которые представлены в таблице 4.7.

Структура технологии изготовления швейных изделий с объемными элементами из полимера состоит из следующих этапов: раскрой, заготовка, дублирование, сборка, окончательная отделка. В зависимости от выбранного оборудования для прессования участок раскроя и дублирования могут меняться местами.

Для производства швейных изделий с объемными элементами из термопластика предприятие должно быть оборудовано 3D-принтером. Выбор 3D-принтера основывается на ряде факторов и условий, рассмотрим их.

При выборе 3D-принтера следует исходить из следующих моментов:

- размеры планируемых к изготовлению напечатанных элементов;
- скорость печати;
- размер рабочего места, с установленным 3D-принтером.

Таблица 4.7 – Рекомендации для массового производства швейных изделий с полимерными элементами различного функционального назначения

Толщина объемного элемента, мм	Назначение объемных элементов	Процентное увеличение жесткости, %	Режимы адгезии			Термопресс	
			Температура, °С	Давление, Па	Время, сек.	Тип	Габариты, мм
0,25-0,75	Мягкие формы при минимальной жесткости	15-17	240	7	15	Плоский	820×380×400
						Проходной	2500×1200×1400
1,0-2,0	Зональная жесткость, формообразующие элементы	18-22	240	7	30	Проходной	2500×1200×1400
						Плоский	820×380×400
2,25-3,0	Декорирование, зональная жесткость	26-30	240	7	40	Плоский	820×380×400
						Специальный пресс с объемными подушками	1500×800×1500

Детали швейных изделий могут быть от сравнительно малых до больших размеров, более 1 м в длину и ширину, поэтому первый критерий оценивания 3D-принтеров – это габариты рабочей поверхности. В Приложении Ж представлен сравнительный анализ 3D-принтеров по характеристикам.

Скорость печати 3D-принтера имеет значение при необходимости выпуска изделий средними и крупными партиями. Чем выше скорость печати головки 3D-принтера, тем меньше времени будет необходимо для печати объемных элементов. Рассмотрим принцип выбора принтера в зависимости от скорости печати и планируемого к производству изделия.

У корсета женского с объемными элементами из термопластика площадь объемных элементов составила 14 400 мм², у блузы женской с объемными элементами из термопластика площадь объемных элементов составила 7 330 мм². При скорости печати головки в 500 мм/с время изготовления объемных элементов для корсета женского составляет 464 сек., а время изготовления объемных элементов для блузы женской составляет 236 сек.

При восьмичасовом рабочем дне один 3D-принтер может произвести 55 комплектов в смену объемных элементов для корсета женского. Расчет представлен с учетом того, что процесс производства одного комплекта объемных элементов составляет 464 сек., а дополнительное время чистки рабочей поверхности стола – 59 сек.

При восьмичасовом рабочем дне один 3D-принтер может произвести 104 комплекта в смену объемных элементов для блузки женской. Расчет представлен с учетом того, что процесс производства одного комплекта объемных элементов составляет 236 сек., а дополнительное время чистки рабочей поверхности стола – 40 сек.

В зависимости от количества выпускаемых изделий с объемными элементами из термопластика в смену, делается расчет необходимого количества объемных элементов из термопластика и количество 3D-принтеров с необходимой мощностью, которые будут производить требуемое количество объемных элементов из термопластика. Например, в случае, если швейное производство в

смену выпускает 1 000 шт. корсетов женских с объемными элементами из термопластика – то понадобится девятнадцать 3D-принтеров, чтобы распечатать необходимое количество объемных элементов. А если выпуск составляет 50 единиц корсетов в смену, то нужен всего один 3D-принтер.

Во время установки 3D-принтера необходимо соблюсти требования от производителя для получения качественных изделий. Требования для установки 3D-принтера:

- 3D-принтер рекомендуется устанавливать в сухих, вентилируемых помещениях;
- не рекомендуется устанавливать 3D-принтер на ковровых покрытиях или близко к стенам, так как это будет препятствовать нормальной вентиляции устройства;
- оптимальное расстояние от стены и сторонних предметов до 3D-принтера составляет не менее 400 мм;
- запрещено устанавливать 3D-принтер рядом со взрывоопасными предметами и источниками тепла;
- запрещено устанавливать 3D-принтер на неустойчивых поверхностях или в помещениях с большим уровнем вибрации;
- 3D-принтер должен быть установлен в отапливаемом и вентилируемом помещении с кондиционированием воздуха, согласно ГОСТ 15150-60 [167], при температуре от -20°C до +85°C и относительной влажности воздуха не более 90% (при температуре +20 °C);
- помещение должно быть сухим, не содержать конденсата и пыли. Запыленность помещения в пределах санитарной нормы [168].

Перечисленные требования практически соответствуют общепринятым требованиям установки технологического оборудования на швейных предприятиях и их выполнение не будет затруднять внедрение 3D-печати в производство одежды.

Выводы по главе 4

1. Проведена промышленная апробация корсета женского с декоративными дублирующими элементами из полимера на производстве компании ООО «ОКБ Беркана». Объемные элементы из полимера расположены по всей площади корсета. Трудоемкость изготовления корсета женского с декоративными дублирующими элементами из полимера составила 2975, 32 сек., что в 14,5 раз меньше, чем время изготовления корсета женского с применением дублирующих термоклеевых прокладочных материалов, которые дополнительно простегиваются для образования формы, регилина и косточек.
2. В Доме Моды Валентина Юдашкина проведена промышленная апробация блузки женской с объемными декоративными дублирующими элементами из полимера. Объемные элементы расположены только на тех деталях, которые требовали дополнительную жесткость: внешний воротник, внешняя стойка воротника, планка, манжеты. Трудоемкость изготовления блузки женской с объемными дублирующими элементами из полимера составила 1100 сек., т.е. время изготовления блузы сократилось на 74 сек.
3. Промышленная апробация и опытная носка швейных изделий с объемными дублирующими элементами из полимера доказала возможность внедрения аддитивных технологий и 3D-печать в массовое производство.
4. Разработана методика внедрения новых материалов для 3D- печати в производство швейных изделий, которая представляет собой последовательность шагов по оценке возможности внедрения нового материала для 3D-печати и разработке технологии производства швейных изделий с его использованием.
5. На основе результатов промышленной апробации разработанной технологии проведён экономический анализ, которые доказал целесообразность внедрения технологии 3D-печати полимерными материалами в производство швейных изделий.
6. Разработаны рекомендации для массового производства швейных изделий с полимерными элементами различного функционального назначения. Проведен

сравнительный анализ 3D-принтеров. Дана характеристика наиболее важным параметрам при выборе 3D-принтера, которыми являются область печати и скорость печати головки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Проведен анализ технологий и оборудования для выполнения объемной печати полимерными материалами, по результатам которого обосновано, что для разработки швейного изделия с объемными элементами из термопластика, в большей степени, применима технология объемной печати FDM.

2. Обосновано, что существующие в настоящее время материалы для объемной печати не могут придать изделиям потребительских свойств, необходимых для использования в повседневной носке. В связи с этим, внедрение технологии объемной печати в массовое производство швейных изделий целесообразно осуществлять путем зонального нанесения объемной печати на детали кроя или применения отдельных элементов из термопластика, что позволит придать новые эксплуатационные свойства швейным изделиям, расширить их ассортимент и функциональность.

3. Обоснована целесообразность печати полимерных элементов для дальнейшего использования в производстве одежды толщиной от 0,25 до 3,00 мм, что соответствует 1-12 слоям 3D-печати.

4. Предложено использовать адгезионное соединение полимерного 3D-элемента с текстильным материалом, формируемое путем прессования на прессе для ВТО. В результате прессования, под действием повышенной температуры и давления, гибкий полимер соединяется с текстильным материалом с формированием адгезионного соединения, при этом физико-механические свойства полученного композиционного материала остаются в рамках требований, предъявляемых к одежным материалам, а по прочности и жесткости значительно превышают показатели исходного текстильного материала.

5. Опытным путем определены оптимальные параметры прессования для формирования надежного адгезионного соединения, при которых элемент из полимера сохраняет целостность границ, не деформируется и не растекается: механическое давление 7 Па, температуре пресса 240 °С.

6. Исследованы образцы текстильных материалов, соединенных адгезией с полимерными 3D-элементами, в результате чего выявлено, что наиболее высокие показатели адгезионной нагрузки имеют:

- образцы ткани с элементом из полимера EasyFlex TPU-A 95;
- льняная ткань (100% лён).

7. Экспериментально установлены:

- время процесса прессования льняного материала полотняного переплетения (100% лён, плотностью 210 г/м²) с 3D-элементом из полимера EasyFlex TPU-A 95 в зависимости от его толщины;

- формула зависимости величины коэффициента жесткости от толщины полимерного элемента композиционного материала: $K_v = 0,978986 \cdot d^{2.07715}$.

8. Предложены классификации:

- объемных элементов из полимера на три группы в зависимости от степени повышения жесткости исходного текстильного материала, которой он обладал до адгезии с полимерным элементом;
- дефектов швейных изделий с объемными элементами из термопластика по степени устранения, которая может быть применена в массовом производстве для проверки на наличие брака сборочных единиц и готовой продукции.

9. Обоснована целесообразность использования полимерных 3D-элементов для декоративного дублирования швейных изделий. Описан принцип выбора оборудования для выполнения декоративного дублирования в массовом и индивидуальном производстве.

10. Разработаны два равноценных по трудоемкости способа декоративного дублирования деталей края швейного изделия с объемными элементами из термопластичного полимера: дублирование деталей края объемными элементами из термопластичного полимера при помощи плоского пресса или специальных прессов и дублирование ткани объемными элементами из термопластичного полимера при помощи проходного пресса.

11. Разработана обобщенная структура технологии изготовления швейных изделий с элементами объемной печати термопластичным полимером. Определены

технологические этапы, из которых состоит обобщенная структура: раскрой, заготовка, декоративное дублирование, сборка, окончательная отделка.

12. Разработана технология изготовления швейных изделий с декоративными дублирующими элементами из термопластичного полимера, заключающаяся в использовании современных технологий 3D-печати для придания деталям края большей жесткости, формоустойчивости с одновременной декоративной отделкой, что способствуют снижению трудоемкости изготовления готовой продукции. Процесс адгезии объемного элемента из термопластичного полимера с текстильным материалом вынесен на участок декоративного дублирования деталей края во избежание существенной реорганизации технологического процесса.

13. Разработана методика внедрения новых материалов для 3D-печати в производство швейных изделий, которая представляет собой последовательность шагов по оценке возможности внедрения нового материала для 3D-печати и разработке технологии производства швейных изделий с его использованием.

14. Проведена промышленная апробация результатов диссертационного исследования. Получены положительные акты апробации. Промышленная апробация, экономический анализ внедрения технологии 3-D печати и опытная носка швейных изделий с объемными дублирующими элементами из полимера доказала возможность внедрения аддитивных технологий и 3D-печать в массовое производство.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Указ Президента Российской Федерации от 07.05.2024 № 309 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года»: офиц. текст. - М.: Канцелярия Президента Российской Федерации, 2004. - 13с.
2. Как российская легкая промышленность ищет новые точки роста. // RBK. / URL: <https://www.rbc.ru/industries/news/651fbbc19a7947008ce7ba05> (дата обращения 10.02.2024).
3. New Atlas. Building a better corset – with 3D printing // NEWATLAS. / URL: <https://newatlas.com/wasp-3d-printed-scoliosis-corset/46403/#gallery:1> (дата обращения 10.02.2024).
4. Малкова, А. Ю. Перспективы влияния 3D печати на индустрию моды / А. Ю. Малкова // Вестник науки. – 2024. – Т. 2, № 1(70). – С. 973-979.
5. Камбур, А. С. Применение 3D-моделирования и 3D-печати в современной моде / А. С. Камбур, К. Е. Дудорова, Д. В. Ходорова // Техническая эстетика и дизайн-исследования. – 2023. – Т. 5, № 4. – С. 5-17.
6. Студентка напечатала на 3D-принтере целую коллекцию женской одежды. // 3DTODAY. / URL: <https://3dtoday.ru/blogs/romzes/student-printed-on-a-3d-printer-a-whole-collection-of-womens-clothing> (дата обращения 11.02.2024).
7. Revolutionary 4D printed dress could the shape of things to come. // Научное издание. THE GUARDIAN. / URL: <https://www.theguardian.com/technology/2014/dec/27/4d-printed-dress-shape-of-things-to-come> (дата обращения 11.02.2024).
8. Сеницына, Е.И. Использование 3Д печати в изготовлении одежды / Е.И. Сеницына, О.В. Ковалева // В сборнике: Современные инженерные проблемы в производстве товаров народного потребления. Сборник научных трудов Международного научно-технического симпозиума, Международного Косыгинского форума, - 2019. С. 167-171.

9. Гусева, М.А. Технологии 3D-печати в производстве персонифицированных швейных изделий / М.А. Гусева, В.В. Гетманцева, Е.Г. Андреева, И.Б. Разин, И.А. Петросова, И.Д. Гусев // Территория новых возможностей. Вестник Владивостокского государственного университета экономики и сервиса. - 2020. Т. 12. № 3. С. 132-142.

10. Верховская, А.С. Применение инновационных технологий в процессе создания коллекции одежды / А.С. Верховская // В сборнике: Дизайн и искусство - стратегия проектной культуры XXI века. Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции в рамках Всероссийского форума молодых исследователей. Москва, - 2022. С. 260-263.

11. Букашкина, Е.А. Создание платья-конструктора из элементов, напечатанных на 3D-принтере / Е.А. Букашкина // В сборнике: Инновационное развитие техники и технологий в промышленности (ИНТЕКС-2022). сборник материалов Всероссийской научной конференции молодых исследователей с международным участием. Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство). Москва, - 2022. С. 42-45.

12. Путеводитель по 3D-печати в медицине. // Оборудование для 3D-печати. VEKTORUS.RU. / URL: <https://vektor.us.ru/blog/3d-tehnologii-v-medicine.html?ysclid=lrs15j7w7j589759112> (дата обращения 12.02.2024).

13. Перспективы развития 3D-печати в медицине 2024 г. // Оборудование для 3D-печати. VEKTORUS. / URL: <https://vektor.us.ru/blog/3d-tehnologii-v-medicine.html#3d-modelirovanie-v-medicine> (дата обращения 12.02.2024).

14. РБК Fashion Review. Как устроена российская индустрия моды. // РБК. / URL: <https://style.rbc.ru/fashion/671f38899a79473b4521c866> (дата обращения 12.02.2024).

15. 3D-печать органов: что происходит с технологией и кто ее развивает. // РБК. / URL: <https://trends.rbc.ru/trends/industry/65dfb10d9a794783b346b69c> (дата обращения 12.02.2024).

16. Пат. 4,665,492 Соединенные Штаты Америки. Computer automated manufacturing process and system / Компьютерный автоматизированный

производственный процесс и система / William E. Masters.; заявитель и патентообладатель William E. Masters. - № 627,221; заявл.: 02.07.1984; опубл.: 12.05.1987. - 10 с.

17. 80⁺ Увлекательная Статистика 3D-Печати на 2023 Год (Факты И Тенденции). // Научное издание. MARKETSPLASH. / URL: <https://marketsplash.com/ru/statistika-3d-piechati/> (дата обращения 13.02.2024).

18. Колиева, Ф.А. Перспективы применения 3D печати при проектировании предметов одежды / Ф.А. Колиева, А.В. Гобеева, А.О. Гркиян, В.В. Гетманцева // Научный журнал «Костюмология», - 2021 №1.

19. 3D Knitwear: How 3D Printing Is Revolutionizing the Fashion Industry. // Оборудование для 3D-печати. 3DNATIVES. / URL: <https://www.3dnatives.com/en/3d-printing-knitwear-220720215/#!> (дата обращения 13.02.2024).

20. Yingying, C. Impact of 3D printing technology on the field of apparel design in the framework of intellectual property law / C. Yingying // Applied Mathematics and Nonlinear Sciences. № 9(1). - 2024. - P 1-15.

21. Sunghyun, K. Heat and Moisture Transfer Depending on 3D-Printed Thermoplastic Polyurethane and Ethylen-Vinyl Acetate Foam and the Presence of Holes for 3D Printing Clothing Development / K. Sunghyun, K. Sungeun, L. Heeran, S. Murali // Fiber chemistry. – T. 52. № 16. - 2024. - P. 220-224.

22. Ning, S. Application of 3D Printing Technology in Customized Garment Production / S. Ning, M. Xichan, Z. Kaiming // Applied Mathematics and Nonlinear Sciences. № 9(1). - 2024. - P. 1-16.

23. Qiu, J. Fusion mode and style based on artificial intelligence and clothing design / J. Qiu, L. Ma // Mathematical Problems in Engineering. № 21. - 2021. - P. 65-68.

24. Cancan, H. Application and Development of 3D Printing Technology in Clothing Design / H. Cancan // Applied Mathematics and Nonlinear Sciences. № 9(1). - 2024. - P. 1-23.

25. Viziteu, D.R. 3d printing technology in textile and fashion industry / D.R. Viziteu, A. Curteza // Fashion Industry (3). - 2021. - P. 41-44.
26. Tang, L. Functional gradient structural design of customized diabetic insoles / L. Tang, L. Wang, W. Bao, S. Zhu, D. Li, N. Zhao, C. Liu // J. Mech. Behav. Biomed. Mater. № 94. - 2019. - P. 279–287.
27. Kim, H. Case study: Hybrid model for the customized wrist orthosis using 3D printing / H. Kim, S. Jeong // J. Mech. Sci. Technol. № 29. - 2015. - P. 5151–5156.
28. Умная одежда OMsignal. // Официальный интернет-магазин «SMARTCLOTHINGLAB» / URL: <https://smartclothinglab.com/brands/omsignal/> (дата обращения 18.03.2024).
29. Gao, T. Three-Dimensional Printed Thermal Regulation Textiles / T. Gao, Z. Yang, C. Chen, Y. Li, K. Fu, J. Dai, E.M. Hitz, H. Xie, B. Liu, J. Song, et al. // ACS Nano. № 11. - 2017. - P. 11513–11520.
30. Shuangqing, W. 3D Printing Technology for Smart Clothing / W. Shuangqing, Z. Taotao, L. Zhenhua, M. Guozhi, X. Zhengyu, Z. Lin, Z. Zeyan // A Topic Review. Materials 2022, № 15. - 2022. - P. 7391-7405.
31. Ameen, A. A. Overview of the Latest Research on the Impact of 3D Printing Parameters on Shape Memory Polymers / A.A. Ameen, A.M. Takhakh, A.A. Abdal-hay // European Polymer Journal. № 112145. - 2023. - P. 28-32.
32. Chang, Y. Recent Advances in Flexible Multifunctional Sensors / Y. Chang, X. Qi, L. Wang, C. Li, Y. Wang // Micromachines, 14(11), 2116. - 2023. - P. 16-28.
33. Diak, V. A review of smart structures and adaptation of 3D printing methods for future fashion applications / V. Diak // MOKSLO TAIKOMIEJI TYRIMAI LIETUVOS KOLEGIJOSE, Nr. 20 (1). - 2024. - P. 154-164.
34. Синицына, Е.И. Использование 3Д печати в изготовлении одежды / Е.И. Синицына, О.В. Ковалева // Современные инженерные проблемы в производстве товаров народного потребления. Сборник научных трудов Международного научно-технического симпозиума, Международного Косыгинского форума. Том Часть 3. - 2019. - С. 167-171.

35. Сухова, А.А. Применение аддитивных технологий в проектировании и изготовлении изделий индустрии моды / А.А. Сухова, С.М. Сверчков, А.А. Азанова // Вестник Технологического университета. г. Казань, - 2024, Т.27, № 3. - С.105-109.

36. Верховская, А.С. Применение инновационных технологий в процессе создания коллекции одежды / А.С. Верховская // В сборнике: Дизайн и искусство - стратегия проектной культуры XXI века. Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции в рамках Всероссийского форума молодых исследователей. Москва, - 2022. - С. 260-263.

37. Дубровина, Т.В. 3D-печать и ее возможности сегодня / Т.В. Дубровина, И.И. Герасименко // В сборнике: Современные информационные технологии в образовании, науке и промышленности. Сборник трудов XXVI Международной конференции, XXIV Международного конкурса научных и научно-методических работ, III Международного конкурса "Нейросетевой рисунок". Москва, - 2023. - С. 136-141.

38. Букашкина, Е.А. Создание платья-конструктора из элементов, напечатанных на 3D-принтере / Е.А. Букашкина // В сборнике: Инновационное развитие техники и технологий в промышленности (ИНТЕКС-2022). сборник материалов Всероссийской научной конференции молодых исследователей с международным участием. Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство). Москва. - 2022. - С. 42-45.

39. Поляков, Р.И. Внедрение технологии 3D-печати материалом FLEX в текстильные изделия / Р.И. Поляков, В.В. Никонов // В сборнике: ДИСК-2023. Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции в рамках Всероссийского форума молодых исследователей "Дизайн и искусство - стратегия проектной культуры XXI века". Москва. - 2023. - С. 213-215.

40. Михайлов, М.М. Разработка 3D-моделей для проектирования изделий текстильной и легкой промышленности / М.М. Михайлов, Е.И. Никитиных // В сборнике: Инновационное развитие легкой и текстильной промышленности (ИНТЕКС-2019). Сборник материалов Международной научной студенческой конференции. - 2019. - С. 129-131.

41. Рассадина, С.П. Применение аддитивных технологий при создании модульных авторских фактур в дизайне одежды / С.П. Рассадина, И.Б. Пугачёва, Ю.Н. Короткова // Архитектон: известия вузов. - 2019. № 4 (68). - С. 15.
42. Шахматова, Ю.Д. Использование аддитивных технологий в производстве одежды / Ю.Д. Шахматова, В.В. Гетманцева, Е.Г. Андреева // «Инновационное развитие легкой и текстильной промышленности» (ИНТЕКС-2018): сб. мат-лов Междунар. науч. студ. конф.. - 2018. - С. 239-242.
43. Белько, Т.В. Дизайн одежды на основе технологий 3D-печати (FDM) / Т.В. Белько, М.А. Курбатова // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. - 2021. № 3 (393). - С. 170-175.
44. Гетманцева, В.В. Разработка коллекции верхней одежды с использованием технологии 3D печати / В.В. Гетманцева, А.М. Кузнецова, Е.Г. Андреева // В сборнике: Сборник научных трудов Международной научной конференции, посвященной 110-летию со дня рождения профессора А.Г. Севостьянова. Материалы конференции. Москва. - 2020. - С. 152-156.
45. Титова, С.А. Цифровые технологии дизайн-проектирования одежды в образовательном процессе / С.А. Титова // Математическое и программное обеспечение систем в промышленной и социальной сферах. - 2018. Т. 6. № 1. - С. 33-37.
46. Рэдвуд, Б. 3D-печать / Б. Рэдвуд, Ф. Шофер, Б. Гаррэт // Практическое руководство пер. с англ. М.А. Райтмана. – М.: ДМК Пресс. - 2020. - 220 с.: ил..
47. Как выбрать настольный 3D принтер. // Оборудование для 3D-печати. MAKE-3D. / URL: <https://make-3d.ru/articles/kak-vybrat-nastolnyj-3d-printer/> (дата обращения 13.02.2024).
48. LIDER-3D Интернет-магазин . 3D-принтер Original Prusa i3 MK3S+. // Оборудование для 3D-печати. LIDER-3D. / URL: https://lider-3d.ru/catalog/3d_printery/3d_printer_original_prusa_i3_mk3s_nabor_dlya_sborki/?yclid=8890447479056105471 (дата обращения 13.02.2024).

49. Шкуро, А.Е. Технологии и материалы 3D-печати / А.Е. Шкуро, П.С. Кривоногов // Учеб. Пособие – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т. - 2017. - 99 с.

50. Овчинников, В.А. Причины неоднородного лазерного сплавления смеси мелкодисперсных порошков титана и ниобия / В.А. Овчинников, Р.Г. Ахметшин, А.В. Разин, К.С. Костиков, А.Н. Яковлев, Н.В. Мартюшев // Фундаментальные исследования. - 2015. № 11-6. - С. 1094-1097.

51. Технология 3D печати – Стереолитография, селективное лазерное спекание и моделирование методом наплавления. // Оборудование для 3D-печати. SOLIDWORLD. / URL: https://www.solidworld.ru/index.php?nma=catalog&fla=stat&cat_id=12&page=1&nums=92 (дата обращения 13.02.2024).

52. Технологии 3D-печати: что это и какая она бывает? // Оборудование для 3D-печати. INK-MARKET. / URL: <https://www.ink-market.ru/blogs/blog/tehnologii-3d-pechati-cto-eto-i-kakaya-ona-byvaet> (дата обращения 13.02.2024).

53. DLP технология 3D-печати: особенности и преимущества. // Производственная компания по 3D-печати и оборудованию. 3DPRINTSPB. / URL: <https://3dprintspb.com/dlp-tehnologiya-3d-pechati/> (дата обращения 18.02.2024).

54. Благовещенский, И.Г. Выбор видов 3D печати изделий с учетом особенностей традиционных аддитивных технологий / И.Г. Благовещенский, Н.С. Мурина, В.Г. Благовещенский, В.А. Холопов, Е.Н. Зеленова // В сборнике: Современные проблемы автоматизации технологических процессов и производств. сборник научных докладов научно-практической конференции с международным участием, посвященной 100-летию со дня рождения Игоря Константиновича Петрова. Курск. - 2023. - С. 162-171.

55. 3D printer test. // Научное издание. 3DNATIVES. / URL: <https://www.3dnatives.com/en/3d-printers-tests/> (дата обращения 18.02.2024).

56. Запорожан, Д.Ю. Особенности развития различных видов 3Д-печати в производстве изделий народного потребления / Д.Ю. Запорожан, А.В. Канатов // В сборнике: Инновационное развитие техники и технологий в промышленности

(ИНТЕКС-2022). сборник материалов Всероссийской научной конференции молодых исследователей с международным участием. Москва. - 2022. - С. 44-49.

57. Муравский, А.А. Polymer 3D printing: history, classification and current development trends (review) / Полимерная 3D-печать: история классификация и современные тенденции развития (обзор) / А.А. Муравский, М.Б. Аликин, И.М. Дворко, Н.А. Лавров // В журнале Известия СПбГТИ(ТУ) №64(90). - 2023. - 58-66 с.

58. Запорожан, Д.Ю. Осознанный выбор различных видов 3Д-печати в производстве изделий народного потребления / Д.Ю. Запорожан, А.В. Канатов // В сборнике: Инновационное развитие техники и технологий в промышленности (ИНТЕКС-2023). сборник материалов Всероссийской научной конференции молодых исследователей с международным участием. Москва. - 2023. - С. 44-49.

59. Что такое 3D-принтер. Виды и советы по выбору. // Оборудование для 3D-печати. PARTPRICE. / URL: <https://partprice.ru/articles/chto-takoe-3d-printer-vidy-i-sovety-po-vyboru/> (дата обращения 18.02.2024).

60. Антонова, В.С. Аддитивные технологии: учебное пособие / В.С. Антонова, И.И. Осовская // ВШТЭ СПбГУПТД. СПб.. - 2017. - 30 с.

61. Иваницын, А.А. Проблемы и преимущества SLA 3D-принтеров / А.А. Иваницын, А.А. Мирончев, В.А. Антонов, А.Д. Вяль, А.Г. Избасов // Труды международного симпозиума "Надежность и качество". - 2023. Т. 2. - С. 248-250.

62. Технологии 3D печати. Что такое 3D печать и какая она бывает. // Официальный сайт магазина «REC». REC3D. / URL: <https://rec3d.ru/rec-wiki/tekhnologii-3d-pechat/> (дата обращения 25.02.2024).

63. 3D-ПЕЧАТЬ SLA. // Официальный дистрибьютор Stratasys, MakerBot, BluePower, Scantech, Xi 'an Bright Laser Technologies Co., LTD. (BLT), TPM3D (TPM 3D Printing Technology CO.,L TD.). DIGISPACE. / URL: <https://digispace.ru/tekhnologii/3d-pechat-sla/> (дата обращения 25.02.2023).

64. Back To The Magic With The Formlabs Form 1⁺. // Оборудование для 3D-печати. TECHCRUNCH. / URL: <https://techcrunch.com/2014/10/02/back-to-the-magic->

with-the-form-labs-form-1/?_guc_consent_skip=1615964193 (дата обращения 25.02.2024).

65. Одежда из принтера: миф или реальность? // Оборудование для 3D-печати. VEKTORUS. / URL: <https://vektor.ru/blog/odezhda-na-3d-printere.html?ysclid=m27ga1dctb3358721> (дата обращения: 25.02.2024).

66. Iris van Herpen. Architectural Fashion. // PINTEREST. / URL: <https://au.pinterest.com/pin/147352219031037562/> (дата обращения 26.02.2024).

67. Chiara Giusti. // Интернет-магазин. CHIARAGIUSTIGIUSTI.WIXSITE. / URL: <https://chiaragiustigiusti.wixsite.com/design/copia-di-wine-to-wear/> (дата обращения 11.08.2024).

68. 3dnatives. // Научное издание. 3DNATIVES. / URL: <https://www.3dnatives.com/en/julia-daviy-280520194/> (дата обращения 11.08.2024).

69. 3D printed art and design world. // Производство одежды, напечатанной на 3D-принтере. 3DPRINTEDART.STRATASYS. / URL: <https://3dprintedart.stratasys.com/> (дата обращения 11.08.2024).

70. Julia Daviy. // Интернет-магазин. JULIADAVIY. / URL: <https://juliadaviy.com/> (дата обращения 11.08.2024).

71. 3D FASHION by Stratasys. 3D Kimono «WeAreAble» Collection. // Производство одежды, напечатанной на 3D-принтере. 3DPRINTEDART.STRATASYS. / URL: <https://3dprintedart.stratasys.com/fashion/kimono-weareable> (дата обращения 01.03.2024).

72. Meet the Fashion Designer Who's 3D Printing Impossible Clothes. // Производство одежды, напечатанной на 3D-принтере. VICE. / URL: https://translated.turbopages.org/proxy_u/en-ru.ru.687623f1-66dc6164-dc3652f1-74722d776562/https/www.vice.com/en/article/meet-the-fashion-designer-whos-3d-printing-impossible-clothes/ (дата обращения 05.03.2024).

73. Каминский, А. А. Анализ трендов рынков аддитивных технологий / А. А. Каминский, М. И. Ананич // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2023. – Т. 6, № 1. – С. 77-84. – DOI 10.33764/2618-981X-2023-6-4-84.

74. Петрова, Г.Н. Исследование комплекса характеристик базовых материалов для FDM технологии аддитивного синтеза. Физико-механические и теплофизические свойства / Г.Н. Петрова, М.М. Платонов, В.А. Большаков, С.А. Пономаренко // Пластические массы. - 2016. № 5-6. - С. 53-58.

75. Прохоров, В.Т. Влияние наноматериалов и технологий на литьевые свойства полимерных композиций на основе этилена с винилацетатом / В.Т. Прохоров, Н.В. Тихонова, Т.М. Осина, Д.В.Рева, А.А. Тартанов, П.Н. Козаченко // Вестник Казанского технологического университета. - 2014. -Т.17.№ 19. - С. 130-135.

76. Голиков, В.С. Влияние индустрии моды на экологию / В.С. Голиков, О.В. Царегородцева // Научный электронный журнал «Меридиан» Выпуск №19(53). - 2020. - С. 303-305.

77. Шахматова, Ю.Д. Возможность применения сополиэфиров в производстве одежды / Ю.Д. Шахматова, В.В. Гетманцева, Е.Г. Андреева // В кн.: IV междисциплинарный научный форум с международным участием «Новые материалы и перспективные технологии». - 2018. - С. 369-371.

78. Колиева, Ф.А. Перспективы применения 3D печати при проектировании предметов одежды / Ф.А. Колиева, А.В. Гобеева, А.О. Гркиян, В.В. Гетманцева // Научный журнал «Костюмология». - 2021 №1.

79. Ткани будущего: какие инновации ожидают нас? // Интернет-магазин по продаже ткани. METR TKANI. / URL: <https://metr tkani.ru/blogs/blog/tkani-buduschego-kakie-innovatsii-ozhidayut-nas> (дата обращения 10.08.2024).

80. ABS пластик. // Официальный сайт магазина «REC». REC3D. / URL: <https://rec3d.ru/plastik-dlya-3d-printerov/abs/abs-pc/abs-pc-plastik-rec-1-75-natyralniy-2kg/> (дата обращения 26.02.2024).

81. PLA пластик. // Официальный сайт магазина «REC». REC3D. / URL: <https://rec3d.ru/plastik-dlya-3d-printerov/pla/pla-stone-plastik-rec-1-75mm/?sku=736> (дата обращения 26.02.2024).

82. TPU (FLEX) пластик. // Официальный сайт магазина «REC». URL: <https://rec3d.ru/plastik-dlya-3d-printerov/tpu/Easy-Flex/easy-flex-plastik-rec-1-75mm-naturalnyj/> (дата обращения 26.02.2024).

83. NYLON пластик // Официальный сайт магазина «REC». REC3D. / URL: <https://rec3d.ru/rec-wiki/rec-friction-parametry-pechati-kharakteristiki/> (дата обращения 26.02.2024).

84. PP пластик. // Официальный сайт магазина «REC». REC3D. / URL: <https://rec3d.ru/plastik-dlya-3d-printerov/pp/pp-plastik-rec-175mm-natyralnyy/> (дата обращения 26.02.2024).

85. ABS пластик для 3d принтера – характеристики, описание, применение. // Оборудование для 3D-печати. 3DRADAR. / URL: ABS пластик для 3d печати на 3d принтере - описание, характеристики, физические свойства - Вики / Wiki (3dradar.ru) (дата обращения 27.02.2024).

86. PLA-пластик, так ли безопасен? // 3DTODAY. / URL: <https://3dtoday.ru/blogs/alpha-2007/pla-plastik-tak-li-bezopasen?ysclid=lu5gw8w939608381631> (дата обращения 27.02.2024).

87. Выбираем безопасный пластик для 3D-ручки: советы и рекомендации. // Официальный сайт магазина «REC». REC3D. / URL: <https://rec3d.ru/plastik-dlya-3d-printerov/eksperimentalnye-materialy/san-plastik-rec-1-75mm-naturalnyj/> (дата обращения 27.02.2024).

88. 3D-печать полиамидом на FDM. // TOP3DSHOP. / URL: <https://top3dshop.ru/blog/nylon-pa-review-and-manual.html?ysclid=lu5h3хахwy798436178> (дата обращения 27.02.2024).

89. Какой пластик самый безопасный. // PLUS-ONE. / URL: <https://plus-one.ru/manual/2021/06/15/kakoy-plastik-samyu-bezopasnyu?ysclid=lu5heowmk328512634> (дата обращения 27.02.2024).

90. 3D печать для производства обуви | Российский производитель обуви Ralf Ringer. // TOP3DSHOP. / URL: <https://3dtoday.ru/blogs/imprinta/3d-pecat-dlya-proizvodstva-obuvi-rossiiskii-proizvoditel-obuvi-ralf-ringer?ysclid=lovi1sp5gz70987969> (дата обращения 13.08.2024).

91. Обувь будущего: Dior напечатал 3D-ботинки. // TEENDAILY. / URL: <https://teendaily.ru/news/moda-news/obuv-budusego-dior-napecatal-3d-botinki?ysclid=lrw8lwpo83134323931> (дата обращения 13.08.2024).
92. Напечатанные на 3D принтере украшения – как голливудский тренд. // Официальный сайт магазина «JUVELIRUM». / URL: <https://juvelirum.ru/napechatannye-na-3d-printere-ukrasheniya-kak-gollivudskij-trend/?ysclid=m728z31lr99263446> (дата обращения 13.08.2024).
93. Nervous System. Официальный интернет-магазин. Folium Series Pendant (Gold). // Официальный сайт магазина «NERVOUS». N-E-R-V-O-U-S. / URL: <https://n-e-r-v-o-u-s.com/shop/generativeProduct.php?code=197> (дата обращения 14.08.2024).
94. Иванова, Д.А. Преимущества 3-Д технологий в ювелирном пространстве / Д.А. Иванова // Точная наука. Издательство: ИП Никитин Игорь Анатольевич. - 2019. № 52. - С. 31-33.
95. Производство швейной фурнитуры с помощью 3D печати. // 3DBUTTONFLY. / URL: <https://3dbuttonfly.tilda.ws/> (дата обращения 14.08.2024).
96. Напечатанное 3D-платье для Диты фон Тиз. // LOSPRINTER. / URL: <https://losprinters.ru/news/napechatannoe-3d-plate-dlya-dity-fon-tiz/> (дата обращения 28.02.2024).
97. Индустрия моды осваивает 3D-печать. // Оборудование для 3D-печати. PRINTFUTURE. / URL: <https://www.printfuture.ru/page/moda> (дата обращения 28.02.2024).
98. «4D-printed» shape-changing dress and jewellery by Nervous System. // DEZEEN. / URL: <https://www.dezeen.com/2013/12/03/kinematics-4d-printed-shape-changing-jewellery-by-nervous-system/> (дата обращения 28.02.2024).
99. Kinematics создает красивые струящиеся 3D-платья. // 3D-EXPO. / URL: <https://3d-expo.ru/article/kinematics-sozdaet-krasivie-struyashchiesya-3d-pechatnie-platya> (дата обращения 28.02.2024).

100. Дизайнерская студия разработала метод 4D-печати. // Студия 3D-дизайна. LOOKTME. / URL: <http://www.lookatme.ru/mag/live/experience-news/198441-4d-print> (дата обращения 28.02.2024).

101. 4D-печати – управление временем. // Оборудование для 3D-печати. CUBICPRINT. / URL: <https://www.cubicprints.ru/blog/post/4D-pechat-upravlenie-vremenem> (дата обращения 29.02.2024).

102. 3D Printed Fashion For Beginners // Официальный сайт магазина «DANIT PELEG». DANITPELEG. / URL: <https://danitpeleg.teachable.com/> (дата обращения 29.02.2024).

103. 4D-платье из кинематических лепестков от компании Nervous System. // Производство одежды, напечатанной на 3D-принтере. MEDUSA. / URL: https://medusa.online/about3d/info/news/4d_plate_iz_kinematicheskikh_lepestkov_ot_kompanii_nervous_system/ (дата обращения 29.02.2024).

104. 3D Printing Shapeways Shop. // Интернет-магазин «SHAPEWAYS». / URL: https://www.shapeways.com/?srsltid=AfmBOopFGkVItA2UTD_slg4G4a4OnKksPWjnZdATM3LgqZ0tRA9czUP4 (дата обращения 29.02.2024).

105. Студентка напечатала на 3D-принтере целую коллекцию женской одежды. // 3DTODAY. / URL: <https://3dtoday.ru/blogs/romzes/student-printed-on-a-3d-printer-a-whole-collection-of-womens-clothing?ysclid=lp462mp0b3890112937> (дата обращения 29.02.2024).

106. DANIT PELEG. A Step into the future. // Официальный сайт магазина «DANIT PELEG». DANITPELEG. / URL: <https://www.danitpeleg.com/> (дата обращения 29.02.2024).

107. FilaFlex. А чего тянуть? // 3DTODAY. / URL: <https://3dtoday.ru/blogs/bq-russia/filaflex?ysclid=m27hfmsuha880201643> (дата обращения: 29.02.2024).

108. Кутюрная коллекция Iris van Herpen Haute Couture Fall 2023. // DZEN. / URL: <https://dzen.ru/a/ZMnNEKLDaKlOzRRd> (дата обращения 29.02.2024).

109. BURO. Айрис ван Херпен создала первое в мире свадебное платье, напечатанное на 3D-принтере. // BURO247. / URL:

<https://www.buro247.ru/news/style/17-may-2024-iris-van-herpen-3d-printed-dress.html>
(дата обращения 29.02.2024).

110. 3D-печать в индустрии моды: как бренды интегрируют новые инструменты и зарабатывают на этом? // Официальный сайт магазина «VC». VC. / URL: <https://vc.ru/design/902370-3d-pechat-v-industrii-mody-kak-brendy-integriruyut-novye-instrumenty-i-zarabatyvayut-na-etom> (дата обращения 29.02.2024).

111. Коллекция THREEASFOUR CHRO-MORPHO – Необычная 3D-печать непосредственно на ткани. 3D PULSF. // 3DPULSE. / URL: <https://www.3dpulse.ru/news/odezhda-i-obuv/kollektsiya-threeasfour-chro-morpho--neobychnaya-3d-pechat-neposredstvenno-na-tkani/?ysclid=m27hmr4kuu453191234>
(дата обращения 29.02.2024).

112. Голландский модельер выпустила первое в мире веганское платье из какао-бобов. // Официальный сайт магазина «WFC». WFC.TV. / URL: <https://wfc.tv/ru/stati/trendy/cacao-dress/> (дата обращения 01.03.2024).

113. Платье из какао-бобов. // DZEN. / URL: <https://dzen.ru/a/Ys2SphXVqyL9PbpX?ysclid=m0s3sj3hn926000166> (дата обращения 01.03.2024).

114. «Умное» платье-паук следит за внешней обстановкой. // Научное издание. TECHINSIDE. / URL: <https://www.techinsider.ru/gadgets/53916-umnoe-plate-pauk-sledit-za-vneshney-obstanovkoy/?ysclid=ls61ih5nzf329500448> (дата обращения 01.03.2024).

115. Anouk Wipprecht presents new 3D printed Proximity Dress for social distancing. // Научное издание. VOXELMATTERS. / URL: <https://www.voxelmatters.com/anouk-wipprecht-social-distancing-proximity-dress/>
(дата обращения 01.03.2024).

116. Одежда из принтера: миф или реальность? / Научное издание. VEKTORUS. / URL: <https://vektor.ru/blog/odezhda-na-3d-printere.html?ysclid=m0s3l5x0t4332438271> (дата обращения 01.03.2024).

117. Designers Ganit Goldstein and Julia Koerner explore direct-to-textile 3D printing. // Научное издание. VOXELMATTERS. / URL:

<https://www.voxelmatters.com/designers-ganit-goldstein-and-julia-koerner-explore-direct-to-textile-3d-printing/> (дата обращения 01.03.2024).

118. «Умное» платье-паук следит за внешней обстановкой. Голландский дизайнер Анук Виппрехт создала уникальное роботизированное платье, которое умеет реагировать на внешние раздражители. // Научное издание. TECHINSIDE. / URL: <https://www.techinsider.ru/gadgets/53916-umnoe-plate-pauk-sledit-za-vneshney-obstanovkoy/?ysclid=m0s3v3ieej62857052> (дата обращения 01.03.2024).

119. Ganit Goldstein. 3D «Weareable» Kimono collection 2020. // GANITGOLDSTEIN. / URL: <https://ganitgoldstein.com/#/3d-kimono/> (дата обращения 01.03.2024).

120. Первая в мире модная коллекция, напечатанная на 3D принтере – модный сет от Ноа Равив. // VEV. / URL: <https://vev.ru/blogs/pervaya-v-mire-modnaya-kollekciya-napechatannaya-na-3d-printere-modnyy-set-ot-noa-raviv.html?ysclid=m0s8a0ddbb585626619> (дата обращения 05.03.2024).

121. Анук Виппрехт представила 3D-печатное платье PROXIMITY для социального дистанцирования. // 3DPULSE. / URL: <https://www.3dpulse.ru/news/odezhda-i-obuv/anuk-vippreht-predstavila-3d-pechatnoe-plate-proximity-dlya-sotsialnogo-distantsirovaniya/?ysclid=m0s3z5mywt916123954> (дата обращения 01.03.2024).

122. Ключко, А. Д. Аддитивные технологии и эффективность их использования в производстве / А. Д. Ключко, Г. А. Гареева, Д. Р. Григорьева // Символ науки: международный научный журнал. – 2018. – № 1-2. – С. 27-29.

123. Дугельная, К.Н. Применение аддитивных технологий в конструировании и моделировании швейных изделий / К.Н. Дугельная, А.Г. Кузьмин, Е.В. Лунина // Всероссийская научно-практическая конференция «ДИСК-2020»: сборник материалов Часть 1. – М.: ФГБОУ ВО «РГУ им. А.Н. Косыгина». - 2020. - С.262-268.

124. Елшанский, С.П. Предпочтение и игнорирование простых геометрических фигур в процессе их зрительного восприятия (айтрекерное

исследование) / С.П. Елшанский // Современные научные исследования и инновации. - 2014. № 4. Ч. 2.

125. Савостицкий, Н.А. Материаловедение швейного производства / Н.А. Савостицкий, Э.К. Амирова // Учебник для студ. учреждений сред. проф. образования / – 7-е изд., стер. - М.: Издательский центр «Академия». - 2013. - 272 с.

126. ГОСТ 12807-2003. Изделия швейные. Классификация стежков, строчек и швов. - М.: Открытое акционерное общество «Центральный научно-исследовательский институт швейной промышленности» (ОАО «ЦНИИШП»), 2003. - 116 с.

127. Что такое адгезия и когезия? Основные понятия, виды и способы применения адгезии в промышленности. // Оборудование для 3D-печати. LASERSTORE. / URL: <https://laserstore.ru/blog/adgeziya-chto-eto-takoe/> (дата обращения 02.03.2024).

128. Шаехов, М. Ф. Изменение адгезионных свойств ABS пластика с тканью после модификации ВЧЕ разряде пониженного давления / М. Ф. Шаехов, В. А. Сысоев, Е. А. Сухих // Костюмология. - 2022. - Т. 7. - № 3.

129. Li, Y. Dispenser-printed sound-emitting fabrics for applications in the creative fashion and smart architecture industry / Y. Li, R. Torah, Y. Wei, N. Grabham, J. Tudor // Journal of the Textile Institute. - Т. 110 - № 1. - 2019. - Р. 1-9.

130. Рассадина С.П. Применение аддитивных технологий при создании модульных авторских фактур в дизайне одежды / Рассидина С.П., Пугачёва И.Б., Короткова Ю.Н. // Архитектон: известия вузов - 2019. - Т. 68 - № 4 - С. 1-12.

131. Инструкция по охране труда при работе с 3D-принтером // Официальное сообщество по 3D-печати. // 3DTODAY. / URL: <https://3dtoday.ru/blogs/kirillll/instruction-on-labor-protection-when-working-with-the-3d-printer> (дата обращения 02.03.2024).

132. Правильное хранение пластика для 3D-печати принтером // Официальное сообщество по 3D-печати. // 3DTODAY. / URL: <https://3dtoday.ru/blogs/zona-3d/proper-storage-of-plastic-for-3d-printing-> (дата обращения 03.03.2024).

133. Адгезия и 3D-печать: все, что вы должны знать // Официальный сайт магазина «REC». REC. / URL: <https://rec3d.ru/rec-wiki/adgeziya-i-3d-pechat-vse-cto-vy-dolzhy-znat/> (дата обращения 03.03.2024).

134. ГОСТ 24684-87. Материалы для одежды. Нормы жесткости. - М.: Издательство стандартов, 1987. - 7 с.

135. Бессонова, Н.Г. Свойства материалов для одежды / Н.Г. Бессонова, Г.П. Румянцева // Учебное пособие. – М.: РИО МГУДТ. - 2017. - 69 с.

136. ГОСТ Р ИСО 2411-2014. Материалы текстильные. Ткани с резиновым или пластмассовым покрытием. Метод определения адгезии покрытия. - М.: Стандартиформ, 2015. - 15 с.

137. ИСО 2286-1-1998 Прорезиненные или покрытые пластмассой ткани. Определение характеристик рулона. Часть 1. Методы определения длины, ширины и массы нетто (ISO 2286-1:1998 Rubber or plastics coated fabrics – Determination of roll characteristics – Part 1: Methods for determination of length, width and net mass). - Швейцария.: Международная организация по стандартизации, 1998. - 6 с.

138. ИСО 2231-1995 Ткани с резиновым и пластмассовым покрытием. Стандартные атмосферные условия для кондиционирования и испытаний (ISO 2231:1989 Rubber or plastics coated fabrics. Standart atmospheres for conditioning and testing). - Германия.: Международная организация по стандартизации, 1995. - 4 с.

139. Туханова, В.Ю. Методы оценок потребительских свойств материалов и конструкций узлов швейных изделий при инженерном конфекционировании / В.Ю. Туханова, Т.П. Тихонова, И.В. Федотова // Учебное пособие. – М.: Издательский дом Академии Естествознания. - 2017. - 144 с.

140. Дугельная, К.Н. Исследование возможностей соединения текстильных материалов с полимерными 3-Д элементами / К.Н. Дугельная, Е.В. Лунина // В сборнике: Современные концепции в дизайне: обмен опытом. Материалы I Международной научно-практической конференции. - М. - 2023. - С. 96-102.

141. Дугельная, К. Н. Внедрение технологии 3D-печати в производство швейных изделий на примере корсета женского с объемными элементами из

термопластика / К. Н. Дугельная, Е. В. Лунина // Костюмология. - 2023. - Т. 8. - № 4.

142. Кислых, Л.В. Материаловедение и конфекционирование швейного производства / Л.В. Кислых // Учебно-методическое пособие. - Елец: Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина. - 2019. - 82 с.

143. Лунина, Е. В. Исследование материалов и технологий аддитивной печати в аспекте использования их при производстве предметов одежды / Е. В. Лунина, К. Н. Дугельная // Костюмология. - 2024. - Т. 9. - № 2.

144. ГОСТ 10550-93. Материалы текстильные. Полотна. Методы определение жесткости при изгибе. - Минск.: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 1993. - 12 с.

145. Гусев, Е.Л. Перспективные подходы и методы к решению проблемы прогнозирования определяющих характеристик композитных материалов / Е.Л. Гусев, В.Д. Черных // Физико-технические проблемы добычи, транспорта и переработки органического сырья в условиях холодного климата. 2024. №1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/perspektivnye-podhody-i-metody-k-resheniyu-problemy-prognozirovaniya-opredelyayuschih-harakteristik-kompozitsionnyh-materialov> (дата обращения: 31.03.2025).

146. ГОСТ 18976-73. Ткани текстильные. Метод определения стойкости к истиранию. - М.: Издательство стандартов, 1985. - 6 с.

147. ГОСТ 15968-87. Ткани чистольняные, льняные и полульняные одежные. Общие технические условия. - М.: Издательство стандартов, 2003. - 11 с.

148. Лунина, Е.В. Технология изготовления корсета женского с 3D-элементами из термопластика / Е.В. Лунина, К.Н. Дугельная // Научный журнал: Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна №2. - 2024. Серия 4. Промышленные технологии. - С. 141-145.

149. Комарова, Я.Б. К вопросу о понятии «дефект» / Я.Б. Комарова, А.В. Краснов // Colloquium-journal. - 2019. № 26 (50). - 3 с.

150. Савостицкий, Н.А. Материаловедение швейного производства / Н.А. Савостицкий, Э.К. Амирова // Учеб. пособие для студ. учреждений сред. проф.

образования. – М.: Изд. центр «Академия»: Мастерство: Высшая школа, - 2001. - 240 с.

151. Бузов, Б.А. Материаловедение в производстве изделий легкой промышленности (швейное производство) / Б.А. Бузов, Н.Д. Алыменкова // Академия. Москва. - 2004.

152. Труханова, А.Т. Основы технологии швейного производства / А.Т. Труханова // Учеб. для проф. учеб. заведений. – 4-е изд. стер., - М.: Высш. шк., Изд. центр «Академия» - 2001. - 336 с.: ил.

153. Промэксперт // Официальный сайт магазина ООО «ПромЭксперт». PROMEXPERT. / URL: <https://www.promexpert.ru/> (дата обращения 26.07.2024).

154. Дугельная, К.Н. Технология изготовления женской одежды с отделочно-декоративными 3Д-элементами / К.Н. Дугельная // В сборнике: Международный молодёжный конкурс научных проектов «Стираем границы». сборник материалов Международного молодёжного конкурса научных проектов. Москва. - 2021. - С. 113-116.

155. Dugelnaya, K.N. Application of additive technologies in the manufacture of woman's clothing with finishing-decorative 3D elements / K.N. Dugelnaya, E.V. Lavris, E.V. Nikolaeva // В сборнике: Социально-гуманитарные проблемы образования и профессиональной самореализации (Социальный инженер-2021). сборник материалов Всероссийская научная конференция молодых исследователей с международным участием. Москва. - 2021. - С. 47-49.

156. Лунина, Е.В. Аспекты изготовления швейных изделий с полимерными деталями / Е.В. Лунина, К.Н. Дугельная // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. - 2024. № 3 (411). - С. 259-266.

157. Пат. 229238 Российская Федерация. Корсет женский с отделочными дублирующими элементами из термопластичного полимера / Дугельная К.Н., Лунина Е.В.; заявл. 13.11.2023; опубл. 30.09.2024.

158. Алахова, С.С. Технология контроля качества производства швейных изделий / С.С. Алахова, Е.М. Лобацкая, А.Н. Махонь // Учеб. пособие. – Минск: РИПО. - 2014 с.: ил.

159. Добровольская, Т.А. Анализ качества швейных изделий на различных этапах производства с использованием статистических методов / Управление качеством на этапах жизненного цикла технических и технологических систем / Т.А. Добровольская, Л.П. Новоточинова // Сборник научных трудов Всероссийской научно-технической конференции. Том 1. Юго-западный государственный университет. - 2019. - С 258-262.

160. ГОСТ 4103-82. Швейные изделия. Методы контроля качества. - М.: Стандартинформ, 2007. - 23 с.

161. Урядникова, И.В. Методика повышения качества швейных изделий с использованием теории нейронных сетей / И.В. Урядникова, И.В. Курбатова // Журнал Дизайн и технологии № 21(63). Москва. – 2011. - С 34-40 с.

162. ГОСТ 30386-95. Материалы текстильные. Предельно допустимые концентрации свободного формальдегида. - Минск.: Издательство стандартов, 2004. - 5 с.

163. Austrianfashion. Journal. // Научное издание. AUSTRIANFASHION.NET. / URL: <https://austrianfashion.net/features/julia-k%C3%B6rner-ein-kleid-ist-f%C3%BCr-mich-architektur-im-kleinsten-ma%C3%9Fstab/> (дата обращения 12.08.2024).

164. ГОСТ 17037-2022. Изделия швейные и трикотажные. Термины и определения. - М.: Российский институт стандартизации, 2022. - 40 с.

165. 3D-принтер Stratex 500 // Официальный сайт магазина «REC». REC3D. / <https://rec3d.ru/3d-printers/3d-diy/3d-printer-Stratex-500/> (дата обращения 15.10.2024).

166. 3D-печать на заказ // Официальный сайт магазина «REC». REC. / URL: <https://rec3d.ru/uslugi/3d-pechat/> (дата обращения 31.03.2025).

167. ГОСТ 15150-69. Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнение для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды. - М.: Стандартинформ, 2010. - 72 с.

168. PURELOGIC research&development. Руководство по эксплуатации широкоформатные FDM 3D-принтеры. // Оборудование для 3D-печати. PURELOGIC. / URL: [fdm_3d_printers_large-format_manual.pdf](https://purelogic.ru/fdm_3d_printers_large-format_manual.pdf) (purelogic.ru) (дата обращения: 25.08.2024).

Таблица А.1 - Результаты опроса оценки экспертов на прочность и качество адгезии 3D-элементов из полимера с текстильным материалом (100% лён, плотностью 210 г/м²)

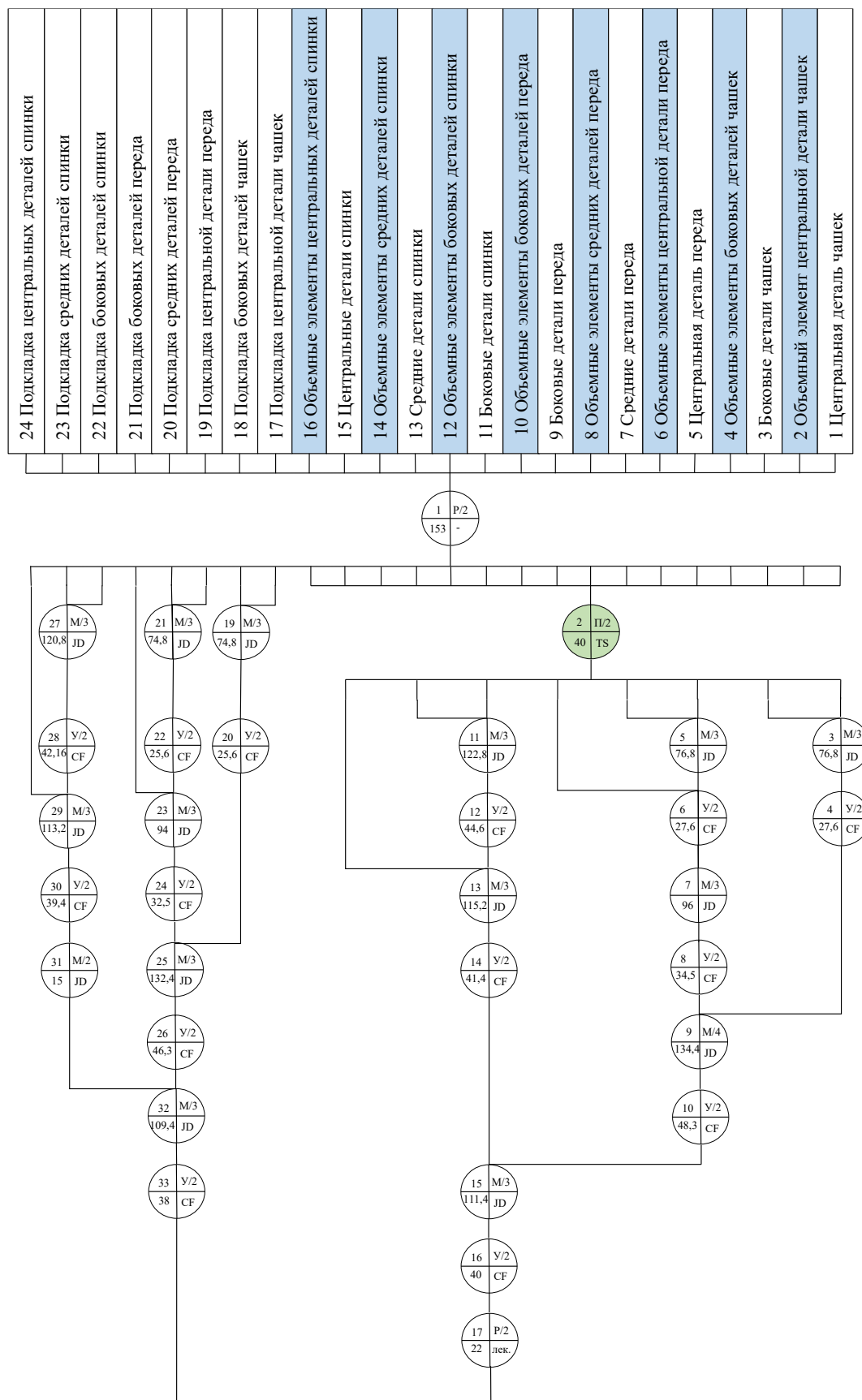
[illegible]

Продолжение таблицы А.1

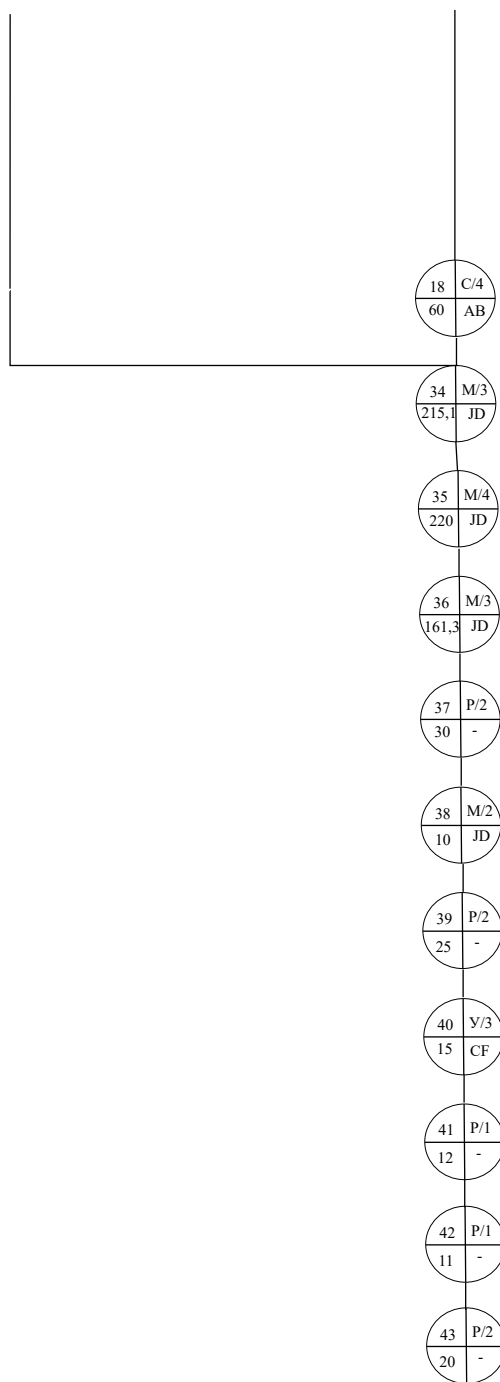
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1,25	10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	15	4	3	5	4	3	3	4	5	4	5	4
	25	3	2	2	3	3	4	3	3	4	3	3
	30	3	2	2	3	4	3	3	3	4	3	3
	40	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	45	2	4	3	3	2	4	3	3	3	3	3
	50	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1,5	10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	15	2	4	3	3	2	4	3	3	3	3	3
	25	3	2	2	3	3	4	3	3	4	3	3
	30	3	2	2	3	3	4	3	3	4	3	3
	40	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	45	2	4	3	3	2	4	3	3	3	3	3
	50	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1,75	10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	15	4	3	5	4	4	4	3	5	4	4	4
	25	3	2	2	3	3	4	3	3	4	3	3
	30	3	2	2	3	3	4	3	3	4	3	3
	40	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	45	2	4	3	3	2	4	3	3	3	3	3
	50	2	1	2	1	2	2	3	2	3	2	2
2,0	10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	15	4	3	5	4	3	3	4	5	4	5	4
	25	2	4	3	3	2	4	3	3	3	3	3
	30	2	1	2	1	2	2	3	2	3	2	2
	40	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	45	2	4	3	3	2	4	3	3	3	3	3
	50	2	1	2	1	2	2	3	2	3	2	2
2,25	10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	15	4	3	5	4	4	4	3	5	4	4	4
	25	2	4	3	3	2	4	3	3	3	3	3
	30	3	2	2	3	3	4	3	3	4	3	3
	40	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	45	3	2	2	3	3	4	3	3	4	3	3
	50	2	1	2	1	2	2	3	2	3	2	2
2,5	10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	15	4	3	5	4	3	3	4	5	4	5	4
	25	3	2	2	3	3	4	3	3	4	3	3
	30	2	4	3	3	2	4	3	3	3	3	3
	40	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	45	2	4	3	3	2	4	3	3	3	3	3
	50	2	1	2	1	2	2	3	2	3	2	2
2,75	10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	15	2	4	3	3	2	4	3	3	3	3	3
	25	3	2	2	3	3	4	3	3	4	3	3
	30	4	3	5	4	4	4	3	5	4	4	4
	40	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	45	2	4	3	3	2	4	3	3	3	3	3
	50	2	1	2	1	2	2	3	2	3	2	2

Окончание таблицы А.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
3,0	10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	15	2	4	3	3	2	4	3	3	3	3	3
	25	3	2	2	3	3	4	3	3	4	3	3
	30	4	3	5	4	3	3	4	5	4	5	4
	40	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	45	2	4	3	3	2	4	3	3	3	3	3
	50	2	1	2	1	2	2	3	2	3	2	2

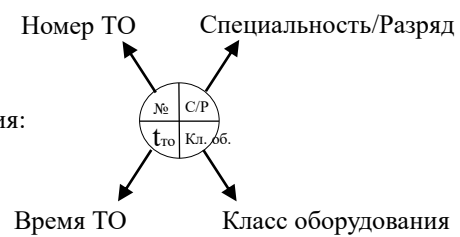


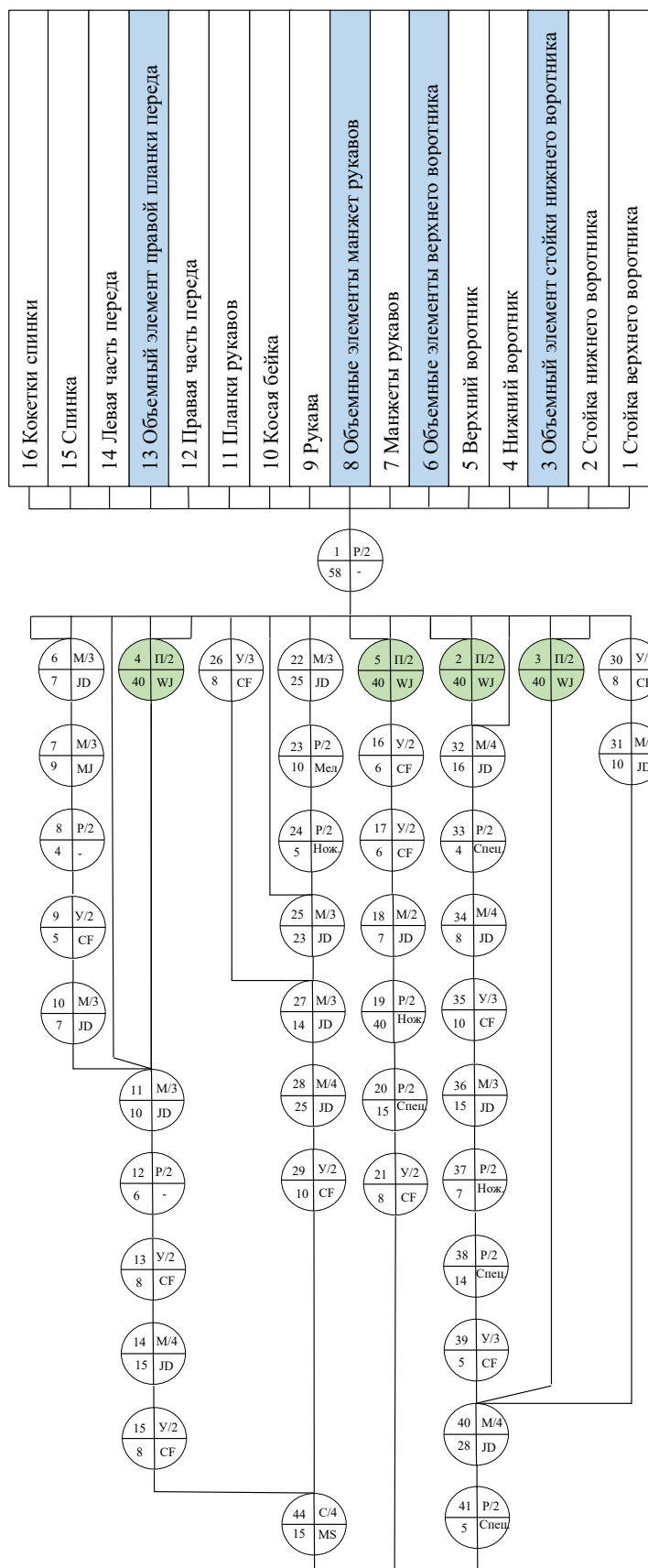
Окончание Приложения Б



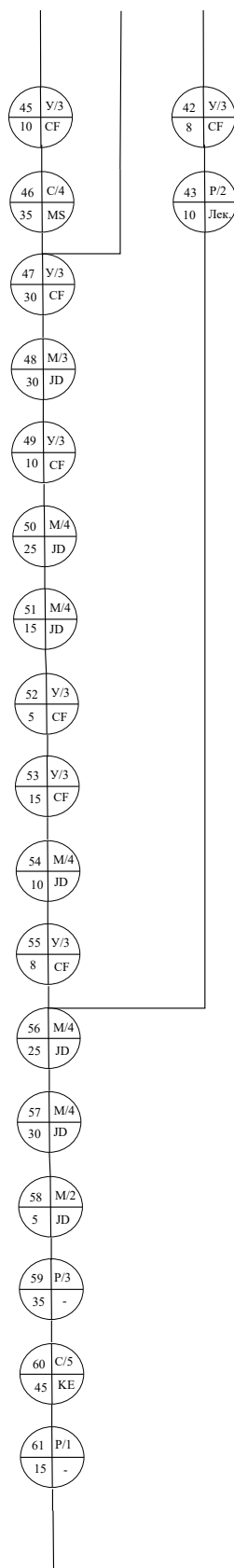
$T = 2975,32$ сек.

Условные обозначения:

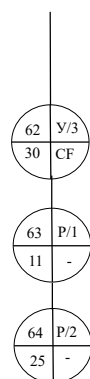




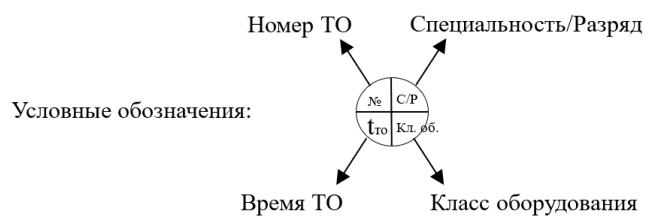
Продолжение Приложения В



Окончание Приложения В



$T = 1046$ сек.



**Приложение Г. Анкета для оценки качества экспериментальных образцов
женской одежды с объемными элементами из термопластика и
эксплуатационных характеристик**

№ п/п	Наименование вопроса	Корсет женский	Блуза женская
1	Оцените при помощи балла Вашу возрастную группу: 18-25 лет – 5 баллов 26-35 лет – 4 балла 36-45 лет – 3 балла 46 и более лет – 2 балла		
2	Оцените при помощи балла характер Вашей деятельности: подвижный – 5 баллов средний – 4 балла малоподвижный – 3 балла		
3	Оцените при помощи балла размер Вашей одежды в диапазоне: 42-44 – 5 баллов 46-48 – 4 балла 50-52 – 3 балла 54-56 – 2 балла 58-60 – 1 балл		
4	Соответствует ли изделие современному направлению моды, балл		
5	Оцените уровень обработки и отделки изделия, балл		
6	Оцените четкость и выразительность исполнения товарных знаков и ярлыков, балл		
7	Оцените соответствие изделия основному функциональному (бытовому) назначению, балл		
8	Оцените соответствие изделия размерной и полнотно-возрастной группе человека, балл		
9	Оцените возможность всесезонной эксплуатации изделия, балл		
10	Оцените соответствие применяемых материалов, отделок и фурнитуры назначению изделия, балл		
11	Оцените общее качество изделия, балл		
12	Оцените целостность и качество строчек, балл		
13	Оцените качество соединения объемного элемента из термопластика с текстильным материалом, балл		
14	Оцените четкость линий объемных элементов из термопластика, балл		
15	Оцените удобство застегивания изделия, балл		
16	Достаточна ли на Ваш взгляд жесткость объемных элементов из термопластика, балл		
17	Удовлетворяет ли Вас рисунок объемных элементов из термопластика, балл		
18	Купили бы Вы данное изделие в магазине, балл		

Приложение Д. Акт внедрения и апробации

«Утверждаю»

Генеральный директор компании
ООО «ОКБ Беркана»
berkana.okb@mail.ru
105066, г. Москва, ул. Нижняя
Красносельская, дом 35,
строение 52, этаж 3 Помещение 3А,
комната 6
Власенко М.А.

Акт апробации

Настоящий акт составлен о том, что материалы диссертационного исследования Дугельной К.Н. по разработке технологии изготовления швейных изделий с объемными элементами из термопластика проверены и апробированы в производственных условиях швейного предприятия ООО «ОКБ Беркана».

В промышленном производстве апробированы:

Метод определения качества адгезии объемного элемента из термопластика и текстильного материала. На примере корсета женского с объемными элементами из термопластика проведена оценка качества адгезии в условиях массового производства.

Оптимальные режимы прессования при температуре 240°C. Использование объемных элементов из термопластика различной толщины от 3,0 мм до 0,25 мм требует соблюдение температурных режимов для качественного процесса адгезии. Это позволило соблюсти все технологические параметры при обработке и сборки изделия.

Рекомендации изготовления швейных изделий с объемными элементами из термопластика в зависимости от толщины объемного элемента. Выявлена зависимость от толщины объемного элемента из термопластика и его общей жесткости в изделии. Область применения разделена на три группы: декорирование, зональная жесткость, придание минимальной жесткости складкам.

Проведенные испытания показали эффективность и целесообразность использования методик и рекомендаций, разработанных в диссертационной работе Дугельной К.Н. в условиях массового производства.

Использование объемных элементов из термопластика позволило сократить трудоемкость изготовления швейного изделия за счет замены множества клеевых материалов, регилина и косточек на объемные элементы из полимера, свойства которых являются более высокими, что также позволяет продлить срок службы изделия до физического износа ткани.

ООО «ОКБ Беркана»

Генеральный директор
компании

Главный технолог

Власенко М.А.

Кривельская И.В.



Приложение Е. Патент РФ на полезную модель

13.10.2024, 16:58

ПМ №229238

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(19) **RU** (11) **229 238** (13) **U1**
(51) МПК
[A41C 1/18 \(2006.01\)](#)

(12) ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

Статус: действует (последнее изменение статуса: 30.09.2024)

(52) СПК
[A41C 1/18 \(2024.08\)](#)

(21)(22) Заявка: **2023129356, 13.11.2023**
(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
13.11.2023
Дата регистрации:
30.09.2024
Приоритет(ы):
(22) Дата подачи заявки: **13.11.2023**
(45) Опубликовано: [30.09.2024](#) Бюл. № [28](#)
(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: **JPH 0514105 U, 23.02.1993. RU**
218116 U1, 11.05.2023. RU 2142244 C1,
10.12.1999. RU 2312571 C2, 20.12.2007.
Адрес для переписки:
399171, Липецкая обл., Добровский р-н, с.
Корневщино, ул. Новая, 26, Дугельная
Ксения Николаевна

(72) Автор(ы):
Дугельная Ксения Николаевна (RU),
Лунина Екатерина Васильевна (RU)
(73) Патентообладатель(и):
Дугельная Ксения Николаевна (RU)

(54) Корсет женский с отделочными дублирующими элементами из термопластичного полимера

(57) Реферат:

Полезная модель относится к легкой промышленности, в частности к производству корсетных изделий. Технический результат заключается в упрощении декоративной отделки деталей кроя швейного изделия за счет использования гибкого термопластичного полимера для изготовления декоративных элементов и достигается за счет того, что в корсете женском, изготовленном из ткани с декоративными дублирующими полимерными элементами, декоративные дублирующие полимерные

Приложение Ж. Акт внедрения и апробации**АКТ****апробации результатов диссертационного исследования****Дугельной Ксении Николаевны****в производственных условиях****Дома Моды Валентина Юдашкина**

В процессе выполнения диссертационной работы Дугельная К.Н. на основе проведенного теоритического анализа новых технологий в области нанесения объемных декоративных элементов отделки на швейные изделия и практического исследования возможностей современного оборудования разработала способ декоративно-функциональной отделки швейных изделий термопластичным полиуретаном. Сущность способа заключается в объединении традиционной технологии прессования и инновационного метода 3-Д печати объемных предметов, что позволяет одновременно фиксировать на деталях кроя швейного изделия декоративные элементы, выполненные из термопластичного полиуретана, и придавать зональную повышенную формоустойчивость декорируемым участкам швейного изделия.

Разработанный способ декоративно-функциональной отделки швейных изделий термопластичным полиуретаном апробирован в производственных условиях Дома Моды Валентина Юдашкина при изготовлении экспериментальной женской блузы и рекомендован к внедрению в массовое производство.

Магистрант, Дугельная К.Н.

Научный руководитель Лунина Е.В.

Начальник производства Павлова С.В.

Главный конструктор Ледяева В.А.

Художник по костюму Налич А.А.



Приложение 3. Сравнительная характеристика 3D-принтеров, технология печати FDM

№ п/п	Характеристика	Stratex 500	Hercules G4	Picaso 3D Designer XL Series 2	Bamboo Lab P1S	Bamboo Lab X1-Carbon Combo	Bamboo Lab X1E Combo
1	Область печати, мм	500×500×700	400×300×600	360×360×610	256×256×256	256×256×256	256×256×256
2	Габариты, мм	700×700×1000	600×540×1100	650×600×1000	389×389×458	389×389×457	389×389×457
3	Вес нетто, кг	80	90	75	12,95	14,13	18
4	Кол-во головок, шт.	1	1	1	1	1	1
5	Скорость головки, мм/с	150	162	150	500	500	500
6	Формат расходника	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75
7	Производитель	Россия	Россия	Россия	Китай	Китай	Китай
8	Стоимость, руб.	575 880,00	749 000,00	619 000,00	125 000,00	235 000,00	340 000,00
9	Скорость печати объемных элементов корсета женского, сек.	384	356	384	116	116	116
10	Скорость печати объемных элементов блузы женской, сек.	196	181	196	59	59	59