

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования «Поволжский государственный университет сервиса»  
(ФГБОУ ВО «ПВГУС»)

На правах рукописи



КУРБАТОВА МАРИНА АНДРЕЕВНА

**ДИЗАЙН И ТЕХНОЛОГИИ БЕСШОВНОГО  
ФОРМООБРАЗОВАНИЯ: ПРОЕКТИРОВАНИЕ МОНОЛИТНОЙ  
ФОРМЫ ОДЕЖДЫ НА ОСНОВЕ FDM-ПЕЧАТИ**

**Специальность 17.00.06 – Техническая эстетика и дизайн**

Диссертация на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Научный руководитель:  
доктор технических наук, профессор  
Белько Татьяна Васильевна

Тольятти – 2021

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
ГЛАВА 1. АНАЛИЗ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИЙ И МЕТОДОВ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ БЕСШОВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ КОСТЮМА.....	11
1.1. Исторический анализ технологий изготовления бесшовной народной одежды с учетом освоения способов обработки органического сырья.....	12
1.2. Трехмерное формообразование бесшовной одежды с применением технического инструментария .....	29
1.3. Анализ производственных технологий и методов бесшовного формообразования костюма в XX–XXI вв.....	43
ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 1.....	52
ГЛАВА 2. КЛАССИФИКАЦИЯ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ БЕСШОВНЫХ СТРУКТУР КОСТЮМА И ТЕХНОЛОГИЙ АДДИТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА.....	54
2.1. Формообразование трехмерных объемно-пространственных структур костюма по принципу трансформации и деформации пластичной основы.....	55
2.2. Формообразование трехмерных оболочковых структур костюма по принципу наслоения материала.....	71
ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 2.....	91
ГЛАВА 3. ДИЗАЙН-ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОСТЮМА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ FDM-ПЕЧАТИ.....	93
3.1. Классификация трехмерных структур печатной формы одежды.....	93
3.2. 3D-моделирование монолитной формы костюма с использованием программного обеспечения Autodesk 3ds Max.....	101
3.3. 3D-моделирование формы костюма методом послойного наплавления (FDM).....	121
3.4. Перспективы использования технологий 3D-печати в одежде .....	136
ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 3.....	141
ОБЩИЕ ВЫВОДЫ.....	143
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....	147
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	161

## ВВЕДЕНИЕ

### **Актуальность темы исследования**

Цифровизация сегодня затрагивает практически все сферы производства, в том числе и модную индустрию. Появляются инновационные экспериментальные направления малооперационных и малосерийных типов производств, расширяющие диапазон индивидуализированной продукции.

Одним из таких направлений сегодня является разработка бесшовной одежды на основе 3D-печати, преемственность технологических способов формообразования которой встречается задолго до появления технологий кроя и искусства шитья.

На первых этапах развитие бесшовного костюма основано на простейших ручных манипуляциях с растительными стеблями, шерстью и кожей, позволяющих выполнять примитивные накидки произвольной формы из полотна с жесткой структурой. Вследствие развития ручных технологий обработки сырья стало возможным получать полотна с более гибкой структурой и вводить в плоские конструкции пластичные линии и отверстия, усложняющие силуэт одежды. Полученные знания об изменениях свойств материалов (сырья) в ходе их обработки, а также ручных способах выполнения из них плоских форм привело к дальнейшему развитию бесшовного костюма, в основе которого закладывается применение технического инструментария. Появление веретена и ткацкого станка дало возможность получать тонкие и пластичные материалы, позволившие выполнять драпированную одежду методом обертывания. Сегодня совершенствование технологического инструментария позволяет деформировать такие полотна на уровне плоскости (сжатие, растяжение, фальцевание) и выполнять бесшовные костюмы с помощью трансформации и фиксации на фигуре человека. Происходит постепенное усложнение ручных способов формообразования объемных элементов костюма до полной автоматизации процесса производства одежды. Ручные технологии изготовления плоских материалов на основе становления обработки сырья послужили основой для

развития способов формообразования объемных элементов костюма: трехмерное связывание и плетение нитей, валяние шерсти по каркасу, формование кожи. Благодаря изобретению и развитию производственных технологий ручной метод изготовления объемных форм способами связывания и переплетения нитей перешел на автоматизированный уровень, позволяющий выполнять одежду путем трехмерного вязания с многовариативным дизайном.

Современный этап ознаменован тем, что наряду с прямым технологическим развитием способов трехмерного формообразования, благодаря расширению материальной и инструментальной базы, происходят и косвенные отражения «низких» технологий в современных экспериментальных направлениях изготовления объемных бесшовных форм костюма с применением технологий аддитивного производства. К примеру, принцип валяния шерсти заложен в современных способах аэрозольного напыления хлопковых волокон по заданному каркасу, идея образования бесшовной объемной формы изделий методом наложения нитеобразного материала по контуру путем плетения, связывания и вязания отразилась в практических экспериментах использования 3D-принтеров в дизайне костюма.

3D-печать костюма является перспективным направлением, которое активно развивается за рубежом в ключе не только практических, но и теоретических исследований. Это обуславливается возможностью создавать изделия в контексте цифровой среды, которая значительно расширяет диапазон проектных решений с индивидуализированным подходом к дизайну.

Аддитивные технологии могут являться эмерджентным толчком развития и становления бесшовного печатного костюма как отдельного направления в производстве современной одежды. Это возможно только при условии развития исследований, нацеленных на решение такой проблемы, как получение форм костюма с эргономическими свойствами и совершенствования материалов для 3D-печати. В отечественной практике наблюдается лишь начальный этап развития освоения технологий 3D-печати в дизайне костюма, что может

объясняться отсутствием какой-либо базы принципов проектирования печатной формы костюма.

Таким образом, актуальность исследования технологий формообразования бесшовной одежды и дизайн-проектирования костюма с использованием технологии 3D-печати, обоснована:

– преемственностью исторически сложившихся ручных и технологических приемов работы с материалом и современных методов проектирования бесшовных форм костюма;

– необходимостью формирования принципов дизайн-проектирования одежды с использованием технологии 3D-печати, что послужит вектором для дальнейших научно-практических разработок по данному направлению и расширения отечественного ассортимента одежды.

**Объектом исследования** являются бесшовные структуры форм костюма, **предметом исследования** – методы бесшовного формообразования и дизайн костюма с применением ручных, машинно-ручных, механизированных и автоматизированных технологий.

### **Цели и задачи исследования**

Целью исследования является формирование научной базы, необходимой для дизайн-проектирования печатных структур костюма как отдельного перспективного направления в производстве современной одежды.

Для достижения данной цели необходимо реализовать следующие исследовательские **задачи**:

1. Проанализировать развитие технологий и методов формообразования бесшовных элементов костюма.
2. Классифицировать современные методы формообразования бесшовных структур костюма и технологий аддитивного производства.
3. Разработать методику дизайн-проектирования костюма с использованием технологии FDM-печати.

### **Методы исследования**

– исторический анализ технологий обработки сырья животноводческой и растениеводческой отраслей, который позволил выявить этапы развития формы бесшовного костюма;

– системный анализ технологий изготовления одежды, используемый на этапе классификации современных методов формообразования бесшовных структур костюма исходя из принципов образования формы;

– структурный анализ технологий аддитивного производства и количественный анализ практического опыта разработки печатной одежды, который показал перспективность направления 3D-печати костюма и его вектор развития;

– сравнительный анализ практического опыта дизайнеров проектирования и изготовления печатной одежды, проводившийся на этапе классификации структурных характеристик печатного костюма;

– экспериментальный анализ технологий цифрового 3D-моделирования и аддитивного производства изделий, позволивший выявить особенности и сформулировать рекомендации дизайн-проектирования монолитной формы костюма на основе FDM-печати;

– метод наблюдения современных практических экспериментов в сфере 3D-печати, который дал основание предположить перспективные направления развития печатного костюма.

### **Теоретико-практическая база исследования**

Исторический анализ технологий обработки материалов в ключе развития формообразования бесшовной одежды проводился на основе работ Дятчина Н. И., Семенова С. А., Новгородовой Э. А., Руденко С. И., Шейпак А. А., Васильченко А. А., Стоун Дж., Савитова П. А., Шиндлера О. В., Альбедиль М. В. Исследование изменений тектонической структуры одежды в ходе развития технологий обработки материала осуществлялось на литературных источниках, посвященные истории костюма авторов Каминской Н. М., Мерцаловой М. Н., Ермиловой Д. Ю., Киреевой Е. В., а также на основе использования каталога

коллекции одежды Музея антропологии и этнографии им. Петра Великого (Кунсткамера) Российской академии наук и каталога Текстильного музея Канады (Textile Museum of Canada).

Для анализа теоретических и практических исследований технологий и методов формообразования бесшовной или малошовной одежды были рассмотрены научные труды и патенты следующих авторов: Белько Т. В., Козлова Т. В., Петушкова Г. И., Баранова Е. В., Садыкова Ж. А., Манцевич А. Ю., Савватеева Н. С., Зарецкая Г. В., Савельев И. А., Непочатых Е. В., Якимова Е. А., Кутуева Ю. С., Лаврис Е. В., Понсар А. В. и др.

Системный анализ современных методов формообразования бесшовных структур костюма проводился на основе практического опыта таких дизайнеров и брендов, как Александр Маккуин, Джерард Рубио, Пако Рабанн, Карен Ламонт, Ли Ксяй Фенг, Паулин Маркомб, Иджак Эбикейсис, Андреа Джапен Ли, Йоджи Ямамото, Дик Кайек, Лиза Шахно, Юле Вэйбер, Люсия Бенитиз, Линда Томоко, Сигалит Ландау, Диана Шерер, Сьюзан Ли, Маниэль Торрес, Фион ван Балгой, Chloe, Cifra, Victoria's Secret, Donna Karan, Gap и Banana Republic, GoSt-Barefoots, Issey Miyake и др.

При выполнении сравнительного анализа практического опыта дизайнеров проектирования и изготовления печатной одежды в ходе выполнения классификации типов структур, были рассмотрены проекты дизайнеров Френсис Битонти, Данит Пелег, Милинич-Богданович, Марие Алехандра Мора-Санчес, Минджинг Лин, Ирис ван Харпен, Анук Випрехт, Бенхаз Фарахи, а также брендов Nervous System и threeASFOUR.

Экспериментальный анализ технологий цифрового 3D-моделирования и аддитивного производства изделий, позволивший выявить особенности и сформулировать рекомендации дизайн-проектирования монолитной формы костюма на основе FDM-печати, проводился с использованием программного обеспечения Autodesk 3ds Max и Cura, а также 3D-принтера JG maker Magic.

### **Научная новизна исследования**

Научная новизна данного исследования заключается в формировании научной базы, послужившей теоретическим обоснованием для дизайн-проектирования монолитной формы костюма с использованием аддитивных технологий формообразования.

Положения, определяющие научную новизну исследования:

1) Установлены этапы развития формы бесшовного костюма в ключе технологий обработки сырьевых ресурсов животноводческой и растениеводческой отраслей, технологизации производственных процессов и их концептуальной интеграции с инновационными методами формообразования;

2) Определены основные методологические принципы изготовления бесшовного костюма, которые могут послужить основой для развития новых технологий формообразования;

3) Впервые на основе систематизации теоретических и экспериментально-практических данных выявлены особенности использования технологии FDM-печати при дизайн-проектировании монолитной формы костюма. В ходе практической апробации сформулированы рекомендации по дизайн-проектированию монолитной формы костюма.

### **Положения, выносимые на защиту**

1) Классификационная модель современных методов формообразования бесшовных структур костюма;

2) Алгоритм дизайн-проектирования одежды в аспекте использования аддитивной технологии печати;

3) Результаты апробации исследования: дизайн монолитных форм одежды на основе технологии FDM-печати.

### **Теоретическая и практическая значимость исследования**

Научная и практическая значимость исследования заключается в выявлении особенностей и формулировке рекомендаций использования технологии FDM-печати при дизайн-проектировании монолитной формы костюма, которые могут применяться в практической деятельности дизайнеров в ключе выполнения

инновационных форм одежды. На основе результатов исследования выполнены учебно-методические материалы и введены в процесс обучения студентов по направлению подготовки 54.03.03 «Искусство костюма и текстиля» профиля подготовки «Художественное проектирование костюма» в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования Поволжском государственном университете сервиса (ФГБОУ ВО «ПВГУС»).

### **Соответствие паспорту научной специализации**

В соответствии с содержанием формулы специальности 17.00.06 «Техническая эстетика и дизайн» – взаимосвязь художественных и технологических факторов, средств, приемов и способов проектирования изделий, процессов; формообразование и структуризация объектов проектирования; связь традиций и современности, выполнено исследование дизайн-проектирования костюма на основе 3D-печати в разрезе анализа развития бесшовных технологий изготовления одежды. Область исследования соответствует следующим областям исследования специальности: 7. «Методы и средства теоретического и экспериментального исследования процессов проектирования и изделий дизайна»; 11. «Методы анализа свойств формы и материалов в проектируемых изделиях»; 12. «Методы формообразования и структурообразования художественных и промышленных изделий».

### **Апробация и внедрение результатов**

1. Основные результаты исследования изложены в докладах на конференциях и форумах международного уровня: IX международной научно-практической конференции «Запад-Россия-Восток», ПВГУС, г. Тольятти, 9–10 апреля 2015 года; международной научно-технической конференции «Дизайн, технологии и инновации в текстильной и легкой промышленности (ИННОВАЦИИ - 2015)», МГУДТ, г. Москва, 17–18 ноября 2015 года; международной научно-технической конференции «Дизайн, технологии и инновации в текстильной и легкой промышленности (ИННОВАЦИИ - 2016)», МГУДТ, г. Москва, 15–16 ноября 2016 года; международного научного форума «Наука и инновации – современные концепции», г. Москва, 26 декабря 2018 г.

2. Исследование представлено в 13 научных статьях, из которых 1 публикация в журнале, входящем в международную базу данных SCOPUS, 5 публикаций в журналах перечня ВАК, 4 публикации в сборниках материалов научных конференций и форума, 3 публикации в научных журналах.

3. На основе выявленных принципов бесшовного формообразования костюма из пластичной основы, разработана модель одежды, новизна и производственная применимость которой подтверждена патентом на полезную модель: «Трансформируемый круглый модуль одежды» (пат. 177336 Рос. Федерация. № 2016127275; заявл.05.07.2016; опубл. 15.02.2018, Бюл. № 5).

### **Структура и объем диссертации**

Структура диссертации состоит из введения, трех глав и выводов по работе, списка литературы и приложений. Объем диссертации – 211 страниц, из которых, включая список литературы, 160 страниц основного содержания работы с 10 таблицами, 4 схемами и 7 рисунками, 51 страница приложений.

## **1. АНАЛИЗ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИЙ И МЕТОДОВ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ БЕСШОВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ КОСТЮМА**

Практика формообразования объектов воплощает в себе совокупность постепенно приобретенных знаний о взаимодействии триадной структуры дизайна «материал-технология-форма», где форма «понимается как цель проектных действий, как проектная идея, материал рассматривается как средство воплощения этой идеи, а технология – как способ достижения цели» [40, С. 83]. Материал (сырье) является первоэлементом в освоении этого взаимодействия. Развитие любого вида формотворчества определяется содержащейся в материале информацией, диктующая специфику способов его обработки и технологию формообразования [25].

Принцип зависимости формы и технологий от материала (сырья) ярко прослеживается в начале развития технологий формообразования бесшовного костюма. В аспекте исследования развития бесшовного костюма необходимо вывести сырье и ее обработку отдельным и начальным элементом освоения технологий формообразования. Таким образом, можно сформулировать следующую цепочку элементов развития бесшовной одежды: сырье – технология обработки сырья – материал – технология формообразования – форма. Вариатизация и техническое усложнение инструментов обработки сырья, нацеленные на повышение его прочности и эластичности, задают определенную специфику изготовления материала ручным способом, а физические характеристики материала диктуют варианты выполнения объемно-пространственной формы бесшовной одежды. Концентрация полученного опыта ручного воспроизведения изделий приводит к следующему этапу развития бесшовных структур, где во главе взаимодействия триадной системы дизайна встает технология, являющаяся движущим элементом развития вариативности свойств материалов и, как следствие, форм костюма.

### **1.1. Исторический анализ технологий изготовления бесшовной народной одежды с учетом освоения способов обработки органического сырья**

С древних времен и по настоящее время развитие жизнедеятельности человека основывается на освоении и применении различных сырьевых ресурсов для улучшения качества быта, вооружения, транспорта, процесса охоты и т. д., а также для изготовления одежды. С появлением отраслей животноводства и растениеводства осваивались способы обработки кожи, шерсти и растений.

Рассмотрим первичные технологии животноводческой и растениеводческой отраслей с точки зрения их влияния на развитие методов формообразования бесшовного костюма и его элементов со времен развития первобытного общества и древнего мира.

#### **1) Технологии формообразования бесшовного костюма и его элементов в аспекте освоения растениеводческой отрасли**

Растения являются сырьем, которое древний человек освоил первым, употреблял его в пищу, применял в строительстве примитивных жилищных сооружений, а также использовал его в качестве защиты тела, изготавливая примитивные формы одежды из свежесобранных стеблей, веток и листьев.

Первичные технологии растениеводческой отрасли, применяемые в изготовлении одежды, существовали на территориях с богатым растительным ресурсом с конца эпохи палеолита [23]. Некоторые этнические группы, такие как индонезийцы, папуасы, индейцы и маори, распространившиеся в пределах Африки, Гвинеи, Австралии, бассейна реки Амазонии, о-ва Гилберта, Юго-Восточной Азии, Индонезии, существовали в обход развития цивилизации, сохранив свою самобытность. Живя по древним традициям, они изготавливали одежду из растений по технологиям, которые оставались неизменными тысячелетиями вплоть до XIX-XX вв. Такие племена, например, как пираха и яномаи обитают на территории Южной Америки и в настоящее время, сохранив

традиции изготовления примитивных видов одежды для использования в различных ритуалах и обрядах.

Освоение примитивных видов обработки (высушивание, вымачивание и отбивка) таких сырьевых ресурсов, как древесина, древесная кора и растительные стебли, позволило использовать их в изготовлении костюма и его элементов.

Примером использования сухих стеблей злаковых растений, осоки или мискантуса является соломенный плащ «мино» (Рис. П.1.1) – традиционный предмет одежды в Японии, защищающий от дождя. Форма плаща в развернутом виде представляет простую геометрическую фигуру, состоящую из скрепленных между собой пучков соломы. В первом варианте пучки соломы соединялись сверху в одну линию, на уровне которой вводились завязки. Плащ надевался на плечи и фиксировался на шее, упругие пучки соломы расходились в стороны, создавая треугольный силуэт. Второй вариант подобного изделия имел единую конструкцию в форме ступенчатой трапеции. Пучки соломы сплетались между собой веревками в верхней части конструкции, образуя по горизонтали несколько соединительных уровней. Верхняя часть загибалась пополам и соединялась, образуя при этом капюшон. Плащ надевался на голову и фиксировался на уровне шеи, форма костюма образовывала треугольный силуэт.

Наблюдение людей за составом и свойством древесных и травянистых растений показало, что они имеют эластичные и гибкие волокна. Низкий уровень упругости и тонкость волокон не позволяли использовать их в качестве материала для плетения, но были достаточны для выполнения простых конструкций одежды методом соединения веревками или лентами.

Примером использования ранней технологии изготовления одежды путем обвязывания волокон дополнительными нитеобразными элементами, является женская юбка в виде бахромы, распространенная у папуасов по настоящее время. Юбка изготавливалась из волокон сухого растения путем подвешивания пучков бахромы на веревку, которая служила одновременно и соединительным элементом для волокон, и поясом для фиксации на теле человека. Для большей

прочности фиксации, пучки бахромы под поясом обвязывались дополнительным шнуром (Рис. П.1.2).

Более плотная структура материала из растительных волокон достигалась благодаря обвязыванию волокон по всему периметру конструкции одежды. Примером изготовления изделий по такому принципу являются сохранившиеся индонезийские дождевые накидки из пальмового волокна, датируемые в Текстильном музее Канады 1930–1950 гг. [111]. Первым вариантом такой одежды является плечевая пелерина круглой формы диаметром 94 см с отверстием для головы посередине (Рис. П.1.3 а). Волокна плотно расположены лучеобразным образом и зафиксированы множеством нитей по кругу, по всему периметру изделия длиной до уровня талии.

В отличие от использования в изготовлении одежды технологии одноуровневого связывания засушенных стеблей, способ обвязывания волокон по всему периметру конструкции позволяет изготавливать более прочное полотно, из которого можно выполнять трехмерные пространственные конструкции.

Таким примером одежды является длинный индонезийский плащ из пальмовых волокон трапецевидной формы с округлыми рукавами (Рис. П.1.3 б). Конструкция изделия состоит из единого полотна в форме круга, имеющего посередине отверстие, и отходящего от него вверх и вниз трапеций. Одежда изготавливалась следующим образом: по форме выкладывались пучками волокна и обвязывались по окружностям; полученная конструкция складывалась пополам и на ее трапецевидных участках производилось соединение боковых линий. Круговое обвязывание волокон позволяло верхней части плаща держать форму полукруга.

Рассмотрим использование в изготовлении костюма и его элементов древесных растений, основным сырьем которых служили древесина и луб. Освоение технологии резьбы по дереву специальными инструментами позволило изготавливать объемные формы различной конфигурации и использовать их в одежде.

Вырезанные из дерева тонкие длинные рейки служили сырьем для изготовления защитной одежды. Соединенные параллельно друг к другу различными нитеобразными элементами рейки образовывали полотно, сгибающееся в одном направлении, что позволяло придавать одежде защитные функции. К примеру, боевой доспех-панцирь тлинкитов начала XIX века состоит из четырех разных по размеру частей, выполненных из множества оплетенных между собой вертикальных деревянных длинных дощечек толщиной в 1 см. Передняя и задняя части панциря соединялись веревками. Высота панциря в 58 см позволяла закрывать торс и бедра. Спереди нижние боковые участки делались короче для удобства передвижения. Чтобы доспех прилегал и обхватывал тело, рейки на плоских участках торса имели среднюю ширину, а по бокам – более тонкую (Рис. П.1.4).

Сырьем для изготовления одежды в традиционной культуре народов Океании на протяжении тысячелетий и до настоящего времени служила кора чайного дерева и фикуса. Из отбитой коры делали пластичный нетканый материал – тапу. Для получения большого полотнища тапы несколько кусков соединялись отбиванием специальным инструментом по срезам. Материал получался достаточно мягким и мог иметь большую площадь, что давало возможность обертывать фигуру человека в несколько слоев и фиксировать конструкцию одежды поясом, сплетенным из растительных стеблей. Также из тапы изготавливались изделия в виде подвязанных передников или рубах, напоминающих пончо [81] (Рис. П.1.5).

Развитие примитивных способов обработки растений – высушивание, вымачивание, отбивка и скручивание – дало возможность выполнять упругие и прочные веревки и шнуры. На первых этапах развития человечества они, помимо изготовления одежды, использовались в качестве соединительного материала частей примитивного оружия для охоты на животных, что положило начало развитию животноводческой отрасли.

## **2) Технологии формообразования бесшовной одежды в аспекте освоения животноводческой отрасли**

Основным сырьем животноводческой отрасли является кожа и шерсть. В контексте развития методов формообразования костюма и его элементов рассмотрим технологии выделки кожи и обработки шерсти, а также их влияние на изменение формы одежды.

Освоение охотничьей деятельности древнего человека сопровождалось развитием опыта снятия шкуры с животного и ее обработки. В эпоху палеолита человек научился вырезать цельную шкуру, имеющей вид единого полотна криволинейной формы с выступами, которые при использовании шкуры в качестве одежды имели функцию фиксации на теле путем завязывания на уровне шеи или талии.

Свежая шкура, снятая со зверя, быстро начинала разлагаться, а после высушивания скукоживалась, твердела и теряла пластичность из-за чего становилось невозможным ее употребление в одежде. Вследствие этого срок службы шкуры в качестве одежды был недолгим. Данная проблема была решена в ориньякскую эпоху изобретенной технологией ее обработки, которая состояла из следующих этапов: высушивание, снятие подкожной клетчатки (мездры) специальными скребками, удаление шерсти (при изготовлении кожи), сушка, выделка [72].

Выделанная кожа имела прочную мягкую структуру и использовалась в виде поясной или плечевой накидки. Плечевая накидка надевалась на плечи и крепилась на шее с помощью кожаных лент или веревок из растений. Для создания более закрытой одежды кожу фиксировали на талии поясом. При необходимости создания лучшей защиты от непогоды, на тело сзади и спереди надевали два кожаных полотна, фиксировали их между собой под рукой и на противоположном плече, оставляя рабочую руку свободной. Такие накидки являются первыми прототипами плечевой бесшовной одежды (Рис. П.1.6), которая в дальнейшем развивалась в пончо, тогу и бурку. Эстетические задачи, предъявляемые к одежде, отсутствовали, поэтому края кожи не подравнивали и не

обрабатывали. На ранних этапах развития одежды из кожи единственной функцией одежды являлась защита от климатических условий, поэтому ее изготовление исключало специальное закладывание складок, драпировок, окрашивание или применение декора.

Появление технологии разделения кожи на несколько слоев дало возможность получать более тонкий материал, выкраивать его на части и соединять их, вводя швы, создавая объемную и закрытую одежду. Примером служит сохранившийся подлинник рубахи индейцев Северной Америки [23] XVIII–XIV вв. (Рис. П.1.7).

Утончение кожи способом деления материала на слои способствует созданию эффекта драпировки и складчатых форм в одежде, о чем свидетельствуют сохранившиеся фотографические сведения костюма индейцев конца XIX – начала XX веков (Рис. П.1.8).

Следующей технологией, повлиявшей на развитие бесшовной формы одежды в аспекте освоения животноводческой отрасли, является *технология обработки шерсти*.

Использование волосяного покрова животного разделяется на получение поверхности войлока, образующегося хаотичным сцеплением волокон шерсти и нити, полученной путем скручивания шерсти.

Согласно исследованиям главы Международной ассоциации мастеров по войлоку Мэри Брекет, войлок возник в конце эпохи неолита. Наблюдение человека за естественным образованием материала в виде спутавшейся шерсти привело к развитию искусственной технологии валяния, которая появилась в период выведения шерстистой породы овец. Шерсть одомашненной овцы, в отличие от дикой, имеет наружный слой – кутикулу, состоящую из плотно прилегающих друг к другу чешуек, которые прикреплены одним концом к стержню волокна. Каждая чешуйка размером в 1 мкм покрыта тонким слоем из хитина, воска и других веществ [70]. Чешуйчатый слой позволяет волокнам не только спутываться, но и цепляться за чешуйки других волокон, склеивая между собой частицы шерсти.

Первые прототипы войлока образовывались естественным путем: шерсть диких овец, обитавших в пещерах, выпадала на землю, скапливалась и сбивалась в комки или уплотнялась. Куски свалявшейся шерсти человек использовал для создания примитивных накидок произвольной формы, которые позволяли спастись от холода.

Начало освоения ручного изготовления войлока датируется с конца IV – до начала III тыс. до н. э. [46] на территориях развитого овцеводства – Юго-Западной Азии и Циркумпонтийских зон. В III-II тыс. до н. э. практика войлоковаления в ходе миграции народов проникла на восток в бассейн реки Тарим. Согласно исследованию С. И. Руденко, один из первых образцов войлочных подстилок был обнаружен археологами в погребениях на территории Ноинулинских курганов в период существования древнего кочевого народа Хунну, населявшего степи к северу от Китая с 220 года до н. э. по II век н. э. [68].

Рассмотрим основные стадии примитивной технологии обработки шерсти и получения плоских войлочных форм: стрижка животного и промывание шерсти, разрыхление шерсти, свойлачивание и валка шерсти [73].

- Стрижка животного и промывание шерсти. Если после стрижки или вычесывания получали относительно чистую шерсть, то ее не мыли по причине сохранения естественного жира на волокнах, который придает волокнам эластичность и повышает уровень клейкости, что важно для сваливания войлока. При стрижке овец мягкую шерсть отделяли от грубой: из мягкой крутили ровницы, из которых пряли пряжу, из грубой валяли войлок.

- Разрыхление шерсти выполняли с целью ее очистки для увеличения формующих свойств.

- Свойлачивание и валка шерсти. Разрыхленный холст шерсти смачивали водой, после чего сворачивали в рулон и начинали катать, повторяя несколько раз до получения равномерной и плотной структуры войлока. При сваливании тонкого однослойного полотна после процедуры взбивания шерсть раскладывали на подстилку (шкуры животных и т. д.), смачивали и

спрессовывали в развернутом виде путем надавливания и катания деревянного валика.

- После этапа свойлачивания и валки шерсти готовый войлочный пласт подравнивали и высушивали на солнце.

Вариативность плотности войлока задается количеством слоев выкладываемой шерсти. С увеличением плотности войлока, увеличивается степень его усадки, непродуваемости, влагонепроницаемости, износостойкости, уменьшается степень драпируемости и пластичности.

Войлочное сукно использовалось в качестве прямоугольной накидки на плечи, которая фиксировалась на шее с помощью завязок или палки из дерева или кости. Заданные свойства войлочного сукна идеально подходили для изготовления верхней одежды в условиях кочевой жизни. Накидка применялась не только в качестве верхней одежды, но и служила подстилкой, покрывалом или ветровым заслоном [84]. Из-за низкой драпируемости плотного войлока, изделие имело обтекаемую форму и, подобно кокону, сохраняло тепло, защищая человека от ветра.

В дальнейшем прямоугольная форма войлочной накидки стала обретать криволинейный вид, что диктовалось необходимостью создания более закрытой оболочки одежды для человека. Появилась одежда округлой формы – плащ – бурка, упомянутый впервые в итальянских источниках 1505 года. Форма бурки представляла собой полукруг или  $\frac{3}{4}$  круга с полукруглой или овальной проймой посередине.

Полукруглая форма бурки, накидываясь на плечи в полный запах, надежнее обхватывает тело, чем прямоугольная форма, не пропуская ветер и удерживая тепло. Для ее крепления на шее используются элементы фиксации, которые соединяют верхние части левой и правой сторон изделия. Элементами фиксации служила система пришивных накидных кожаных петель и ремешки, продергивающиеся в петли и завязывающиеся на уровне шеи.

Бурка имела колоколообразную форму: узкие, покатые плечи и широкий низ. Для XVIII – начала XIX веков характерна короткая бурка длиной до колен или

выше, использующаяся пастухами для пеших прогулок. В конце XIX века появляются более удлиненные варианты одежды, используемые всадниками. В XX веке сложился второй тип бурки сначала с плечевыми, а затем и с боковыми швами. За счет введения швов форма плеч расширилась и стала более выраженной. Из-за введения боковых швов потерялась необходимость выкраивания большого полукруга. Использовались трапециевидные формы кроя, верхняя сторона которой по ширине была чуть меньше нижней, что диктовалось задачей сохранения закрытости одежды при движении человека и сокрытия оружия во время Первой мировой и гражданской войны.

Дальнейшее развитие технологий обработки кожи и валяния шерсти происходит путем совершенствования ручных инструментов и постепенного перехода к автоматизации технологий с сохранением принципов каждого этапа обработки.

### **3) Технологии формообразования бесшовной одежды в аспекте освоения способов плетения растительных и шерстяных волокон и ткачества**

Освоение способов обработки растительных стеблей и шерстяных волокон в конце эпохи палеолита дало возможность получать длинные узкие или нитеобразные элементы, которые применялись в качестве соединительных материалов для изготовления одежды, орудий труда, оружия и т. д. путем обматывания, обвязывания и совершения элементарных узлов. Развитие способов выполнения манипуляций с нитеобразными элементами привело к развитию технологии плетения.

Переплетение по видам делится на плетение и полуплетение. В качестве первичных материалов для плетения использовались полоски луба, отмоченные в воде стебли растений, и перекрученные волокна растений.

Плетение подразделяется на поперечное переплетение, когда полосы или шнуры соединяются крест-накрест, диагональное и спирально-кольцевое, в котором шнур или полосы располагают по спирали, скрепляя соседние нити друг с другом.

Полуплетением называется тип соединения нитеобразных элементов в сочетании с другими способами крепления: наматывание, прокалывание, связывание и перевязывание. Из полуплетения возникли и развились такие приемы, как вязание петель и узлов.

Освоение техники ручного переплетения древесного луба и растительных стеблей дало возможность выполнять плоские и трехмерные формы домашнего убранства, костюма и его элементов. Изготовление различных циновок производилось саржевым, поперечным плетением, когда полосы или нити соединяются крест-накрест, диагональным или спиральным плетением. К примеру, нанайцы плели циновки из расщепленного надвое тростника диагональным способом с применением заостренной палочки, игравшей роль шила для пропускания перекрещивающихся тростниковых половинок.

Освоение технологии скручивания волокон стеблей или луба между собой дало возможность выполнять более прочные и упругие шнуры неограниченной длины, что позволяло их применять в создании одежды методом плетения.

Рассмотрим несколько примеров одежды, полученные способом плетения скрученными нитями и веревками из растительных волокон. Плащ ахуула, появившийся во II тыс. до н. э. в полинезийской культуре, изготавливался вплоть до XVII века путем плетения из нитей древесных волокон в виде сети или корзины (Рис. П.1.9). Плащ-накидка, фиксирующийся на шее, имел форму чуть больше или меньше полукруга и средства фиксации в виде завязок длиной 16 см [81]. Защитный полукombineзон XIX века народов Австралии, Океании и Индонезии изготавливался путем плетения кокосового волокна и состоял из штанов, передника, лямок, переднего и заднего фартука.

Примером плетеного изделия из пальмовых волокон является костюм индонезийских рыбаков, который состоял из юбки и перелины. Изделие выполнено в виде сплетенной плоской конструкции из кокосового волокна толщиной в 1,5 см с отверстием посередине. Конструкция надевается через голову на плечи. По бокам передней половины панциря и сзади посередине

имеются петли с вставленными шнурами, соединяющие конструкцию изделия (Рис. П.1.10).

Технология переплетения дала возможность получать крепкую структуру материала и изготавливать более сложные по конфигурации объемные формы одежды. Использование методом плетения скрученных между собой необработанных волокон, полос луба и стеблей растений дает жесткую структуру формы одежды, в которой отсутствует пластичность и драпируемость (Рис. П.1.11).

Освоение технологий обработки волокон растений и способов их скручивания в одну нить дало развитию в эпоху неолита технологии прядения [23], что позволило изготавливать тонкую нить, из которой получался мягкий и пластичный материал с высоким уровнем драпируемости [1].

Растительным материалом для прядения являются различные участки растений: у льна, крапивы, конопли, рами, джута, канатника, кенафа и кендыря для прядения используются волокна с коры стебля; у хлопка этот материал содержится в семенах, снабженных длинными волосками; у текстильного банана, сизаля, новозеландского льна прядильный материал — волокна листьев.

Перед прядением волокно обрабатывают различными способами.

*Обработка льна.* Льняные волокна имеют большую длину, крепость и имеют свойство расщепления на более мелкие волокна. После удаления листьев и семян волокна вымачиваются для возникновения процесса бродильного гниения и их разрыхления. После сушки лен подвергается физическому давлению и трепанию для того, чтобы отделить хрупкие части стебля от волокна. Затем пряди льна расчесывают.

*Обработка крапивы.* В Северной Азии у народов ханты и манси крапиву срывали, просушивали и смачивали, снимая при этом наружный слой костяными ножами, предварительно расщепив стебель. Для окончательного отделения волокон от костры их перетирали между ладонями и били деревянным трепаком в форме кинжала.

*Обработка побегов дерева.* В Америке ягуа для изготовления одежды использовали волокна молодых побегов с дерева. Измельченные побеги подвергали механической обработке в виде трепания о дерево или бревно, после чего просушивали и расчесывали пальцами.

Шерстяное волокно для получения мягкой прядильной массы подвергали промыванию, чистке и чесанию.

После обработки, волокна вручную соединяли между собой путем их вращения между ладонями, получая, таким образом, мягкие и прочные нити – пряжу. В эпоху неолита для прядения использовалось специальное приспособление, состоящее из веретена, пряслицы и прялки. Волокно прикрепляли на расположенное по вертикали устройство из подручных средств, из которого затем вытягивалась и скручивалась нить с использованием палочки (веретена) и пряслицы в виде круглого камня с отверстием посередине. В ходе развития такого инструмента, процесс прядения стал непрерывным, освободивший руки прядильщицы от кручения [82].

Технология плетения способствовала развитию ткачества, которое основывается на переплетении натуральных нитей животного или растительного происхождения путем их перекрещивания под прямым углом с использованием специального ткацкого станка.

В первых ткацких станках эпохи неолита нити одной системы натягивались на ветви деревьев параллельно друг к другу на равную длину. Уток, состоящий из одной нити, переплетался вручную, проходя поперек, постоянно меняя направление таким образом, что одна висящая нить оставалась по одну сторону поперечной нити, а другая – по другую [23]. В результате использования такой неустойчивой конструкции и отсутствия каких-либо вспомогательных приспособлений получался материал с рыхлой и неравномерной структурой.

Повышение качества полотна наблюдается в ходе усовершенствования ткацкого станка в бронзовом веке. Устройство имело вертикальную П-образную форму с прикрепленными сверху нитями основы, которые, благодаря привязанным снизу грузам, находились в натянутом состоянии. Введенные сквозь

нити через одну прутки и ремизка, представляющие собой деревянную планку, осуществляли подъем и опускание поочередно четных и нечетных нитей основы, через которые проводилась горизонтальная нить.

Первые ткацкие станки позволяли изготавливать полотна ограниченного размера, зависящего от высоты и ширины заданной конструкции. С введением накопителей основы и ткани (навоя и товарного валика), длина материала перестала зависеть от параметров станка.

В отличие от технологии ручного переплетения грубых нитей из скрученных необработанных волокон или полос луба, ткацкий станок позволяет из нитей обработанных волокон изготавливать мягкие и очень тонкие материалы с высокой степенью драпируемости.

В Древнем Египте технология ткачества достигла наивысшего уровня, что связано с развитием культуры обработки льняных волокон и совершенствованием ткацкого станка. Горизонтальное расположение ткацкого станка позволяло легко совершать сложные манипуляции с тонкими, практически незаметными невооруженному глазу льняными нитями.

Получаемая ткань небольшой ширины и длины позволяла выполнять обертывающие структуры одежды с высокой степенью облегания: схенти и калазирис (Рис. П.1.12). В такой одежде «человек кажется спеленутым как в коконе или в футляре» [28].

Увеличение ширины и длины вертикальных станков в Древней Греции и Риме позволило изготавливать одежду многократного обертывания вокруг тела и формирования многочисленных складок и драпировок [30].

Таким примером служит древнегреческий костюм Хлена, представляющий собой шерстяное полотнище прямоугольной формы, обернутое вокруг тела и закрепленное на плечах. Костюм состоял из единого куска ткани, который набрасывался на спину и на левое плечо, при этом закрывая левую руку. Затем ткань пропускалась под правую руку, охватывая всю фигуру спереди и закидывалась назад через левое плечо [28].

По такому же принципу изготавливалась древнеримская тога. Сложенная на 1/3 ткань эллипсовидной формы, длина которой могла достигать 6 метров, накидывалась на плечо и оборачивалась вокруг фигуры, формируя различные системы ритмичных складок и драпировок [39].

Усовершенствование ткацкого станка происходило в сторону автоматизации процессов ткачества. Сначала был создан ножной привод, состоящий из двух подножек, каждая из которых отвечала за процесс поднимания нитей, затем в 1773 году английский изобретатель Джон Кей запатентовал механический челнок, заменяющий ручное крепление горизонтальных нитей.

Далее, в 1789 году усовершенствование ткацкого станка заключалось в создании приспособления, обеспечивающего автоматическое поочередное поднятие четных и нечетных нитей основы. В 1895 году Джеймсом Нортропом был запатентован ткацкий станок, в котором пустые челноки автоматически перезаряжались [82].

Таким образом, исследование развития технологий обработки органического материала позволило выделить первичный и вторичный этапы развития одежды.

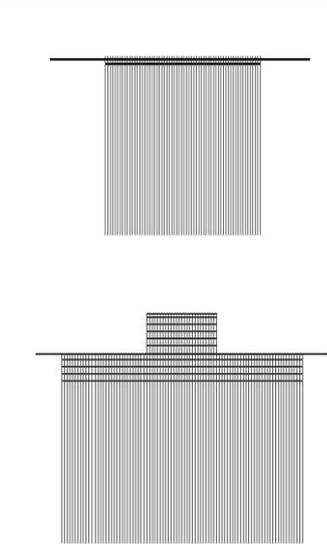
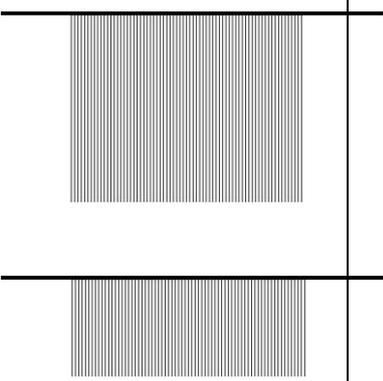
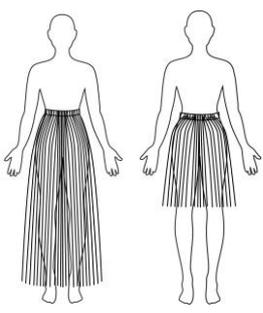
Первичными технологиями изготовления одежды в аспекте развития технологий растениеводческой и животноводческой отраслей является создание плоских по конструкции плечевых и поясных накидок следующими способами: обвязывание сухих необработанных стеблей, плетение полос луба или скрученные волокна стеблей, обработка кожи, свойлачивание шерсти. Выполненные полотна фиксировались на фигуре человека путем продевания конструкции с отверстием через голову или с помощью соединения отдельных участков нитеобразными системами.

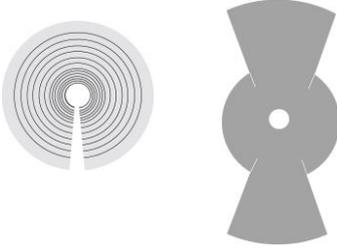
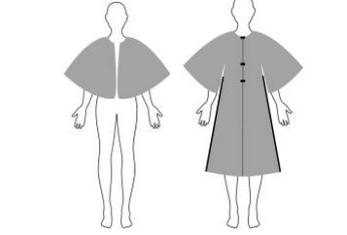
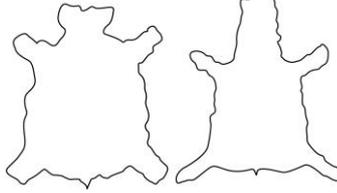
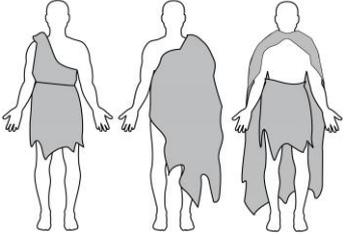
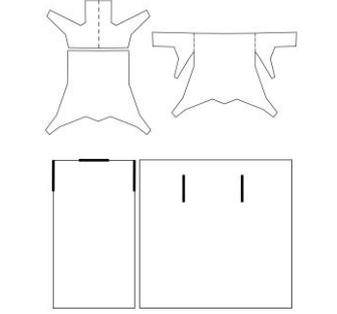
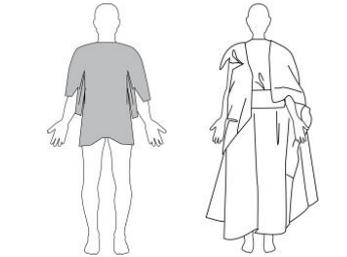
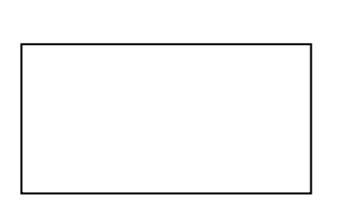
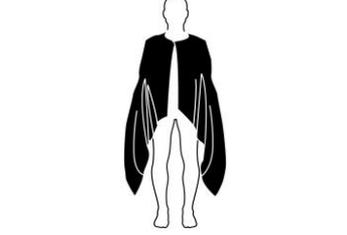
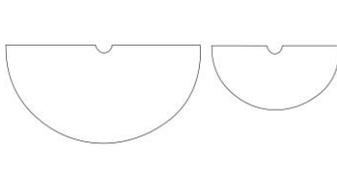
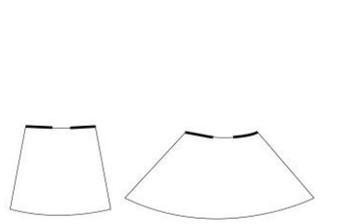
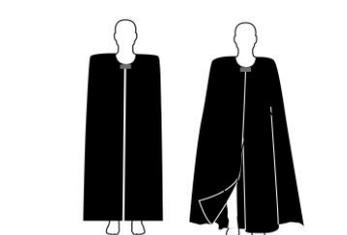
Вторичные технологии изготовления одежды представляют собой более развитый способ плетения – ткачество из нити, полученное путем прядения шерстяных и растительных волокон. По технологии ткачества изготавливали плоские полотна ткани, которые использовались в одежде в качестве поясных или плечевых накидок, в виде сложных обертывающих систем.

Анализ развития технологий изготовления одежды на основе двухмерной конструкции в аспекте обработки органических материалов позволил выполнить классификацию технологий обработки материала и способов формообразования плоского полотна, которая представлена в таблице 1 «Формообразование бесшовной одежды на основе анализа технологий обработки органических материалов» и таблице 2 «Технологии формообразования бесшовной одежды на основе технологии плетения из пряжи, шерсти и растений».

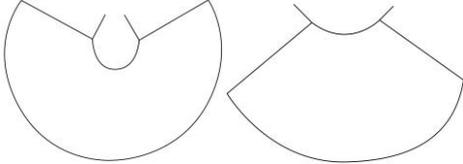
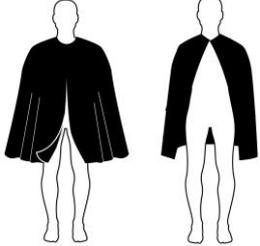
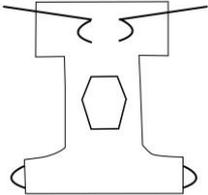
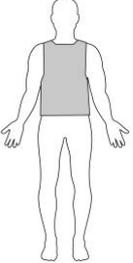
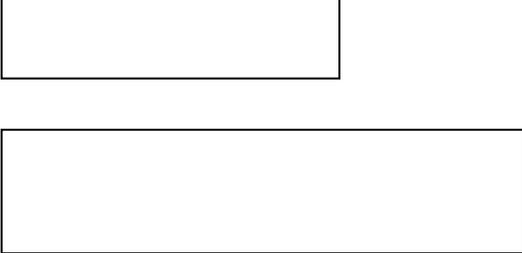
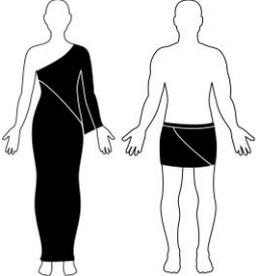
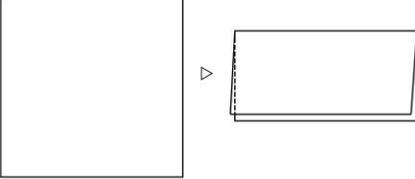
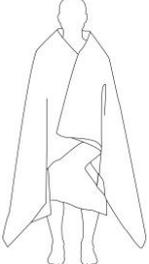
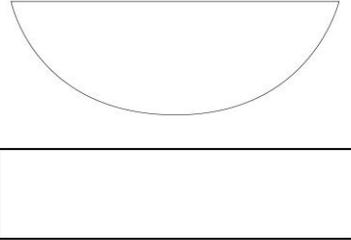
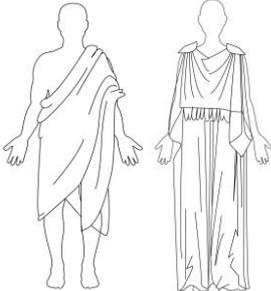
Таблица 1

Формообразование бесшовной одежды на основе анализа технологий  
обработки органических материалов

Материал	Технология обработки материала / способ формирования плоского полотна	Тип одежды	Конструкция одежды	Крепление на фигуре
Стебли растений	Высушивание / обвязывание на одном или нескольких уровнях	Запашная плечевая одежда		
Стебли и волокна растений	Высушивание, вымачивание / обвязывание на одном уровне	Запашная поясная одежда		

Материал	Технология обработки материала / способ формирования плоского полотна	Тип одежды	Конструкция одежды	Крепление на фигуре
Волокна	Высушивание, вымачивание / обвязывание по периметру конструкции	Распашная плечевая одежда с элементами накладной в виде округлой формы выреза горловины		
Кожа	Высушивание кожи, снятие подкожной клетчатки, удаление волос, сушка, дубление	Запашная плечевая и поясная одежда с нитеобразной системой фиксации		
	Высушивание кожи, снятие подкожной клетчатки, удаление волос, сушка, дубление, расслоение кожи	Накладная одежда, фиксирующаяся на фигуре путем продевания конечностей и головы человека через отверстия		
Волокна шерсти	Чистка, чесание шерсти/ формирование прямолинейной формы путем валяния	Запашная плечевая одежда		
	Чистка, чесание шерсти/ формирование полукруглой криволинейной формы путем валяния шерсти	Распашная плечевая одежда с элементами накладной в виде округлой формы выреза горловины		
	Чистка, чесание шерсти/ формирование трапецевидной формы путем валяния шерсти, фиксация плечевых участков швом	Распашная плечевая одежда с элементами накладной с выраженной округлой формой выреза горловины и выделения плечевой линии		

Технологии формообразования бесшовной одежды на основе  
технологии плетения из пряжи, шерсти и растений

Технология изготовления полотна	Конструкция одежды	Крепление на фигуре
Ручное плетение округлой формы		
Плетение сложно-геометрической формы		
Ткачество на узком ткацком станке		
Ткачество на широком ткацком станке		
		

В результате исследования первичных и вторичных технологий формообразования бесшовной одежды из органического сырья разработана схема (Схема 1), в которой продемонстрированы получаемые вследствие обработки сырья материалы и производные манипуляции в ходе получения плоского полотна.

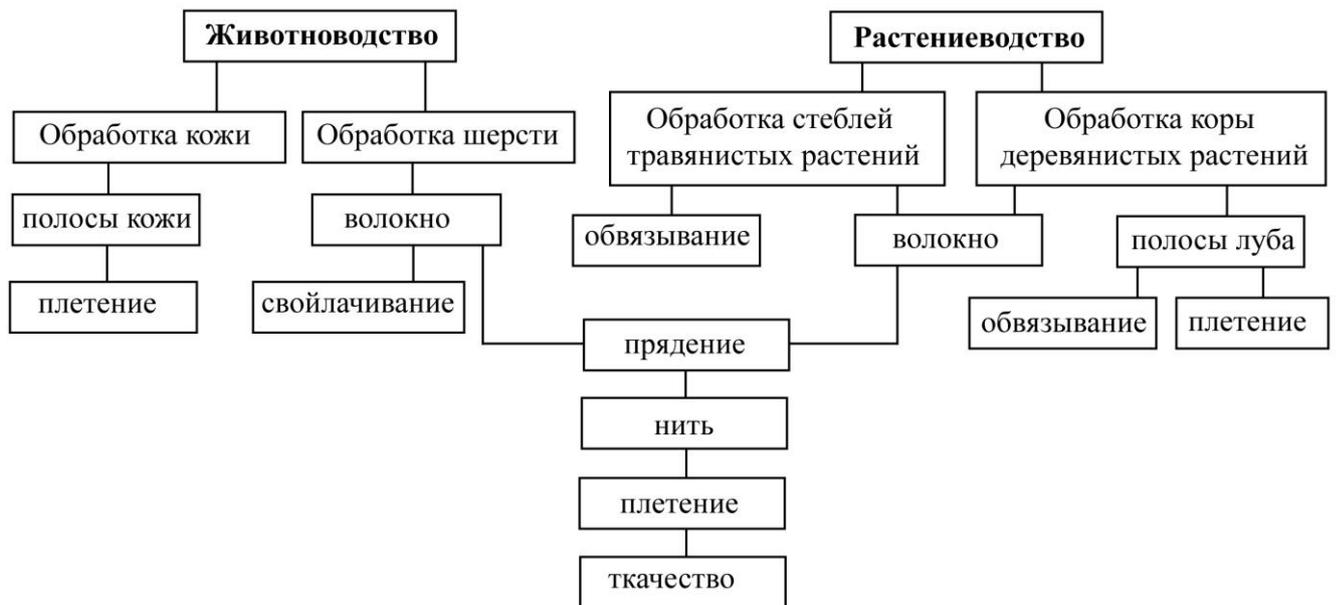


Схема 1 - Развитие технологий изготовления плоских форм одежды из органических материалов

## 1.2. Трехмерное формообразование бесшовной одежды с применением технического инструментария

В ходе освоения технологий обработки органического сырья происходил поиск способов работы с материалами, направленный на создание трехмерных форм. Данные способы отрабатывались на малых формах — изготавливались такие элементы костюма, как головные уборы, перчатки, чулки и обувь.

Рассмотрим способы создания объемных форм элементов костюма в ключе развития освоения обработки органических материалов — таких как растения, шерсть и кожа.

## **Способы создания объемных элементов костюма из растительных и животных материалов**

Освоение *технологии вырезания и шлифовки* древесины специальными инструментами позволило выполнять объемные формы различной конфигурации и использовать этот способ для изготовления обуви. Примером обуви являются древние индийские падуки, появившиеся в III тыс. до нашей эры и голландские деревянные кломпы XII века (Рис. П.1.13 а). Кломпы представляют собой цельную форму с отверстием для ноги. Падуки состоят из подошвы, повторяющей очертание человеческой стопы, и фиксатора, благодаря которому обувь удерживается на ноге между первым и вторым пальцем.

Освоивши примитивные приемы плетения путем перекрещивания нитеобразных элементов в плоскости, люди начали пробовать выполнять более сложные объемные конфигурации, искривляя, загибая и фиксируя друг за друга стебли растений или полосы луба. Таким примером служит обувь, изготовленная по технологии плетения из растительных материалов – лапти, представляющие собой низкую плетеную обувь, распространенную на Руси в сельской местности до начала XX века (Рис. П.1.13 б). Материалом для изготовления лаптей служат корни растений и деревьев или кора различных лиственных деревьев (липа, береза, дуб, ракета и др.). Лапоть состоит из следующих основных частей: подошвы с каймой, верха, боков и пятки с запятником. Техника плетения отличалась по количеству лыковых полос и видом плетения в различных регионах. К примеру, русские лапти имели косое плетение, а белорусские и украинские лапти имели плетение в виде прямой решетки [119].

Прием обвязывания нитей и методы их переплетения друг с другом трансформировались в более сложную технику плетения – *вязание*, которое образует трехмерную форму элементов костюма путем образования и соединения друг с другом петель из одной нити ручным способом или с использованием вспомогательных инструментов (иглы, крючки, спицы) [12].

Самым древним элементом костюма, изготовленного в технике вязания, являются носки IV—V вв., найденные в коптских гробницах. Археологические

находки примитивных вязаных элементов костюма (рукавицы, носки, головные повязки) указывают на существование техники вязания иглой в Англии, Финляндии, Германии, Норвегии и России в X-XI вв. [109]. Искусство вязания более сложных и объемных форм элементов костюма из тонких шелковых нитей (перчатки и чулки) прослеживается в Европе в XIII веке и в Испании в XVI веке [29] (Рис. П. 1.13 г, д).

Распространение моды на вязаные элементы костюма привлекло за собой появление устройств, упрощающие ручные технологии воспроизведения изделий сначала плоской, а затем и объемной формы. Первой вязальной машиной, которая воспроизводила плоское полотно, состоящее из переплетенных между собой петель, является ручной станок Вильяма Ли, созданный в Англии в 1589 г., где вместо спиц работали иглы, закрепленные на плоском горизонтальном бруске. Однако, из-за неразвитой технологии утончения металла, машина имела толстые иглы, которые могли вязать полотна лишь с грубой структурой [29].

Более технологичная ручная плосковязальная машина была изобретена Исааком Уильямом в 1863 г. в Америке, что привело к быстрому производству трикотажа высокой эластичности [89]. Уменьшение ручного труда, высокая скорость изготовления, низкая стоимость материала, а соответственно, и изделий, изготовленных с помощью такого станка, позволили вытеснить ручную вязку, что также дало развитие вязальным фабрикам и трикотажным мастерским.

Моторные плосковязальные машины появились в 1880 г. Поскольку расширение и сужение полотна необходимо было регулировать вручную, они работали в полуавтоматическом режиме. Автоматизация данного процесса произошла в 1910 г. Такие элементы костюма как чулки производились путем сшивания вязаного полотна для голени, после чего вкруговую надвязывалась стопа.

Поиск минимизации этапов изготовления чулочно-носочных изделий дал развитие исследованиям и экспериментам английских, французских, немецких инженеров и изобретателей, благодаря чему в XIX веке появилась первая круглая вязальная машина. В отличие от плоских, круглые вязальные машины имеют

дискообразные игольницы и благодаря этому воспроизводят трикотажное полотно в виде бесшовной трубки [19]. Первая, получившая широкую известность кругловязальная машина, предназначенная для изготовления эластичных чулок, была запатентована Генри Грисвольдом в 1878 г. Именно на основе этого изобретения начинается расти степень механизации технологического процесса производства бесшовной одежды.

Наряду с технологией вязания развивался и способ трехмерного формообразования элементов костюма из шерстяных волокон путем *валяния*. Освоение технологии изготовления войлочного плоского материала путем давления и катания способствовало развитию способов формирования объемных изделий из войлока. Войлоковаление является одной из первых технологических методик изготовления формоустойчивых объемных деталей одежды без каких-либо соединений. Объемные войлочные элементы костюма появились впервые у кочевых народов Евразии: обувные вкладыши, сумки и головные уборы. Широкое распространение войлочной обуви и головных уборов на Руси произошло в начале XIX века.

В связи с тем, что шерсть с жиропотом свойлывается лучше, чем очищенная, для изготовления объемных изделий шерсть не подвергалась влажно-тепловой обработке. Ее очистка производилась на решетке с использованием специального инструмента для рыхления – лучка.

Примитивный способ формообразования бесшовного сапога из войлока заключался в следующем: из разрыхленной шерсти вручную формируют конструкцию сапога, после чего ее вываривают в кипящей воде для уплотнения и усадки; заготовку, напоминающую внешне сапог большого размера, натягивают на колодку и специальным инструментом отбивают со всех сторон до получения необходимой формы; изделие подвергается сушке [124]. Обувь, изготовленная по такому способу, имеет округлую форму с рыхлой поверхностью. Наиболее загнутые поверхности обуви имеют среднюю степень прочности.

Более усовершенствованная ручная технология изготовления валяных сапог состоит из следующих этапов: образование первоначальной трехмерной формы, свойлачивание, валка или стирка.

1) Образование первоначальной трехмерной формы. На намоченную поверхность холста настиляется ровным слоем разрыхленная шерсть в Т-образной конфигурации, концы которой соответствуют двум частям разрезанной головки сапога, но увеличены в 2,5 – 3 раза реального размера сапога. Для уплотнения слой шерсти обрызгивают водой, прижимают и притирают специальной доской.

2) Свойлачивание. Холст с шерстью сворачивают в трубу и начинают свойлачивать, производя на него давление. Форму войлочного полотна подравнивают и складывают вдвое, располагая большую часть снизу. Выступающие края загибают и соединяют с верхней частью слоя путем увлажнения и притирания. После обкладывания формы вторым слоем шерсти в конструкцию во избежание склеивания кладут клеенку, сворачивают в трубу и подвергают катке. На носок, след, пятку и задник накладывают третий слой шерсти, устраняя разрывные дефекты, после чего изделие снова подвергают катке.

3) Валка и стирка. После уплотнения методом валки, конструкцию выворачивают наизнанку и держат в холодном растворе серной кислоты для увеличения способности шерсти к свойлачиванию. Форму сапога стирают в горячей воде, вследствие чего он уменьшается в размерах и уплотняется. После этого сапог насаживают на колодку, состоящую из трех клиньев и носка, обтирают на тупой рубчатке, чистят пемзой для удаления шерстяного ворса и промывают холодной водой. Для увеличения уплотнения и фиксации формы изделия голенищами вниз подвергаются сушке в особых печах или камерах.

В сравнении с примитивным ручным способом изготовления войлочного сапога, более детализированная технология позволяет изготавливать форму обуви с большей плотностью и упругостью, но одновременно с этим – более пластичную, принимающую при носке форму ноги. Повышенная плотность и упругость трехмерного изделия позволяла сохранять внешний вид на длительное

время. Недостатком данной технологии является невозможность выполнения рельефной поверхности на объемной форме в связи с высоким уровнем сложности, а также по причине низкой устойчивости отдельных внешних выступов к истиранию.

Теперь рассмотрим способы трехмерного формообразования элементов костюма из кожи.

При поиске наиболее результативного способа обработки кожи с помощью различных физико-химических воздействий, древними людьми было замечено, что если задать необработанному влажному кожаному полотну какую-либо форму, то при высыхании она затвердевает и не переходит в исходную до высушивания плоскую форму. Данное свойство кожи было применено для создания трехмерной бесшовной обуви, которую изначально изготавливали путем высушивания сыромяти конечности животного, предварительно натянутой на голень и ступню человека. После в роли формообразующего каркаса использовали деревянные колодки, напоминающие человеческую ступню. По такому же принципу изготавливали обувь из длинных полос кожи, которые наматывались на ногу или болванку, фиксируясь путем обвязывания древесным лубом.

В период энеолита обувь изготавливали путем выкраивания из кожи формы в виде увеличенной стопы с упорядоченными по периметру срезами. На получившихся тонких отрезках по краям выполнялись отверстия, в которые вставлялась веревка или узкая кожаная лента, служившая фиксатором при стягивании отрезков по форме ноги человека. В кельтской обуви V–XI веках прослеживается похожий принцип, но с разрезами на пятке, которые сшивались между собой.

В изготовлении бесшовных элементов костюма использовалась не только кожа наземных животных, но и рыб. Примером такого изделия является сохранившийся шлем маршалцев, созданный до 1885 года из рыбы-шара с окружностью в 61 см. Экспонат принадлежит Музею антропологии и этнографии им. Петра Великого Российской академии наук г. Санкт-

Петербурга (Рис. П.1.13 е) [110]. Для изготовления головного убора использовалась цельная кожа рыбы, в которой проделаны для возможности ношения внешние срезы: вертикальные по бокам и сзади; один горизонтальный на уровне лба, от него перпендикулярно выполнено вертикальное сечение. Таким образом, спереди образуются клапаны, которые отворачиваются и открывают лицевую часть. Шлем достаточно плотный, следовательно, можно предположить, что после того как рыбу выпотрошили и засушили кожу, ограничились удалением подкожного жира специальными дискообразными скребками. Обработывали кожу с учетом сохранения плотности, поэтому применялась технология, которая укрепляла и придавала изделию водоотталкивающее свойство. Возможно, шлем подвергали выделке копчением или такими веществами, как раствор золы, мозги животных или рыбы молока.

Таким образом, основными приемами трехмерного формообразования плоских элементов костюма из кожи является: *формование* и *стягивание*.

Если развитие способов обработки органического сырья в контексте развития бесшовной одежды сопровождалось отработкой приемов создания объемных изделий малых форм, то в контексте развития способов обработки минерального неорганического материала — *металла* — практически сразу происходил поиск трехмерного образования изделий, покрывающих большую часть тела человека.

### **Способы создания объемных элементов костюма из металла**

Развитие бесшовной формы защитной одежды происходило не линейно, что связано с неравномерностью развития материальной культуры, изменениями специфичности военного дела и техники боя у различных народов в разное время. Часто технологии изготовления определенного вида доспехов прекращали свое существование на несколько столетий и заменялись на более упрощенные способы. Поэтому исследование развития формы одежды из металла выполнялось в ключе увеличения степени сложности технологий изготовления, исключая временную последовательность.

Самым древним и примитивным способом изготовления доспехов из металла является выковывание небольших плоских элементов, которые крепились с нахлестом с внешней стороны или между слоями объемной конструкции из кожи [76].

Освоение обработки металла путем его нагревания позволило получать мягкую металлическую массу, из которой можно было вытянуть тонкие прутья. Достижение высокого мастерства в этом процессе позволило вытягивать из металла проволоку различной толщины, которая по средству рубления и загибания образовывала кольца. Соединение колец, в свою очередь, могло образовывать сеть плоской или трехмерной формы. Данная технология применялась в изготовлении *кольчатого доспеха*, который представлял собой объемную конструкцию, закрывающую различные части тела (Рис. П.1.14 а).

По мнению ведущих экспертов истории оружия П. Коннолли и Э. Оукшота, подобный вид защиты впервые появился в древности у кельтов в I тыс. до н. э. Технологии изготовления кольчатого доспеха отличались способами соединения колец и, как следствие, толщиной и уровнем защиты [32, 76, 86].

Специфичность изготовления кольчужного доспеха путем соединения колец позволяла изготавливать трехмерную форму защитной одежды любой толщины и уровня пластичности, закрывающей и прилегающей к телу на различных его участках. Это могли быть чулки, рубаха с рукавами, капюшоном и рукавицами с выделенным большим пальцем. При необходимости большей степени уплотнения и прилегания кольчуги к телу, где это было невозможным, сквозь кольца вводился шнур, который утягивал недостаточно прилегающие участки, к примеру, капюшон [39]. Толщина и плотность соединения колец диктовала уровень пластичности кольчатого материала. Чем меньше связных уровней колец, тем выше пластичность доспеха, но вместе с тем уменьшаются его защитные свойства. Кольчатый доспех, несмотря на пластичность, был достаточно тяжелым. Рубаха с рукавами, капюшоном и штаны весили до 50 кг и сильно стесняли движения в бою.

Развитие технологии обработки металлов позволило получать путем нагревания иковки упругие плоские и загнутые пластины различной геометрической формы. Соединение пластин позволяло изготавливать объемные формы защитной одежды, называемые *пластинчатыми доспехами*.

Разновидностью пластинчатых доспехов является конструкция ламеллярных доспехов. Тонкие пластины применялись в изготовлении трехмерных форм защитной одежды путем их соединения шнурами. Форма такой одежды представляла собой длинный, до колен, халат или корсет с подолом и наплечниками. Степень подвижности и защитных свойств такого доспеха зависела от размеров пластин ламелляра: мелкие модули обеспечивали высокую степень пластичности, сравнимую с кольчатым доспехом, но низкий уровень защиты, а большие пластины формировали крепкое и малоподвижное изделие.

Из более утолщенных пластин изготавливали защитную одежду в виде кирасы, представляющей собой группу раскроенных плоских геометрических форм из различных видов металла (бронзы, латуни, железа, чугуна и т.д.), соединенных кольцами или ремешками. Раскроенные формы повторяли неподвижные участки торса человека, а кольцевое соединение металлических модулей при движении не препятствовало маневренности.

Доспехи, состоящие из соединенных кольцами пластин, относят к типу кольчато-пластинчатых доспехов и различаются техникой соединения модулей и кольчужного полотна [83]: юшман, калантарь и бахтерец [50, 69] (Рис. П.1.14 б, в, г).

Выковывание из плоского железного листа объемных форм, повторяющих контуры человека, исключало применение большого количества деталей. Примером трехмерного пластинчатого доспеха является защитное вооружение римского легионера I века н. э. Выглядел доспех как корсет с наплечниками, выполненный из соединенных между собой длинных пластинчатых полос. Этот доспех не сковывал движения, принимал удар на большую поверхность. В отличие от кольчатого, пластинчатое переплетение увеличивало степень защиты

при получении повреждений от колющего оружия, но имело меньшую пластичность.

Итак, организация трехмерной формы защитной одежды с использованием пластин осуществлялась тремя способами:

- путем соединения одинаковых по форме пластин шнурами;
- путем выкраивания плоских пластин по форме корпуса человека и их соединения ремнями или металлическими кольцами;
- выкраиванием, выковыванием плоских пластин из различных видов металла (бронзы, латуни, железа, чугуна и т.д.) в объемные формы и соединением их по форме частей тела человека

Наиболее сложной технологией изготовления защитной одежды является получение и соединение объемных металлических плоских модулей различных по форме и размеру, в совершенстве повторяющих криволинейную поверхность фигуры человека. Такие изделия называются *латными доспехами* и изготавливались следующим образом: бронзу или сталь плавил и выливал в плоские заготовки; после остывания способомковки формировались тонкие пластины; пластины разрезали на части и подвергали тепловой обработке; нагретые пластины выковывались, что придавало им объем [76].

Примерами латных доспехов VI вв. до н.э., являются греческие наголенники, шлем и римские доспехи «кираса», повторяющие рельефы торса физически развитого мужчины.

Наиболее близким к форме человеческого тела, является литой бронезилет, впервые появившийся в Греции в V–IV вв. до н.э. в эпоху расцвета классической скульптуры. Защитный нагрудник в соединении с наспинником представляет собой анатомический панцирь, соответствующий торсу носящего, и предназначен для имитации идеализированного человеческого телосложения (Рис. П. 1.15 а).

В зависимости от исторического периода, уровня развития мастерства изготовления доспехов, вида боя, существует множество видов подобных доспехов с различной комплектацией и конфигурацией деталей.

В XVIII веке технология изготовления латного доспеха представляла вершину кузнечной промышленности и осуществлялась серийным способом. Раскаленный лист железа вкладывали в чугунную форму – матрицу, затем выбивали тяжелым молотком для придания точной формы поверхности матрицы.

Непрерывное развитие технологий изготовления трехмерных пластинчатых конструкций привело в XV веке к тому, что латы покрывали всю поверхность человека [76, С. 148]. Примером таких доспехов послужит готический, имеющий заостренные детали и максимилиановские латы с округлыми элементами деталей (Рис. П.1.15 б, в).

Проведенное исследование показало, что развитие защитной одежды из различных видов металла происходило на основе нескольких технологий. Освоение технологии вытягивания тонких прутьев из куска раскаленного мягкого железа позволило изготавливать проволоку и создавать из нее кольца. Освоение технологии получения из бронзы, латуни, железа, чугуна и т.д. тонких листов и выкраивание их на части позволило изготавливать тонкие пластины. Соединение тонких пластин или колец между собой различными способами лежит в основе модульного формообразования объемной защитной одежды, повторяющей контуры фигуры человека. Освоение технологии получения объемных деталей разной конфигурации из бронзовых или стальных пластин путем выковывания, позволило изготавливать доспехи из меньшего количества деталей, соединяющиеся между собой металлическими конструкциями в области суставов. Обтекаемая форма таких доспехов имела максимальные защитные свойства и в совершенстве повторяла криволинейную форму фигуры человека.

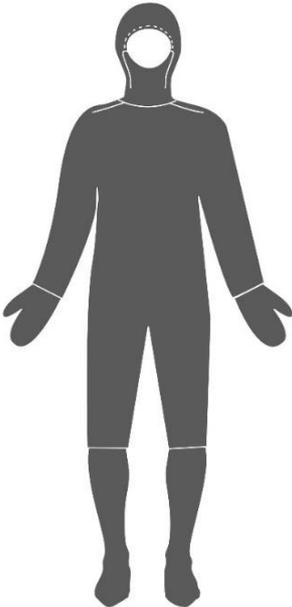
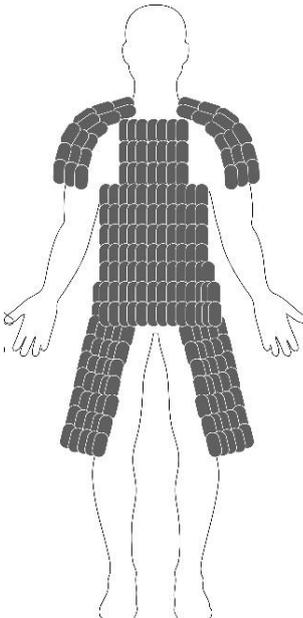
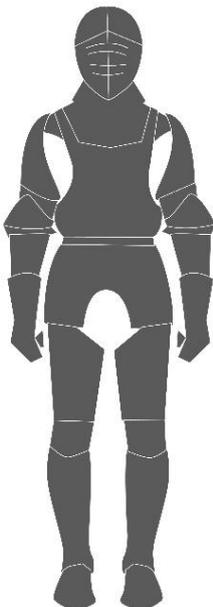
Исследование развития форм защитной одежды в ключе усложнений обработки различных видов металла продемонстрировано в таблице 3 «Развитие технологий изготовления костюма трехмерной формы из металла», где описаны технологии обработки металла и содержание конструкции, а также показаны схемы защитной одежды.

Итак, основным способом трехмерного формообразования одежды из металла является *соединение модулей*: кольцеобразных модулей между собой;

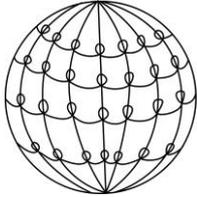
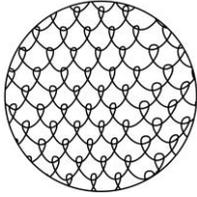
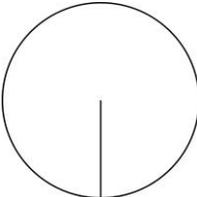
плоских малых модулей с помощью колец, ремешков; плоских сформованных полуюбъемных модулей с помощью ремешков и более сложных конструкций.

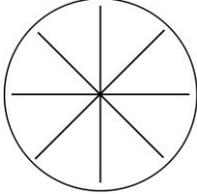
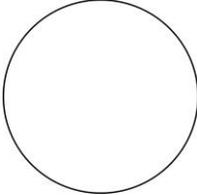
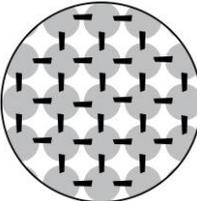
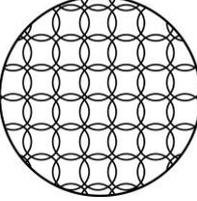
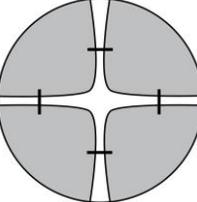
Таблица 3

Развитие технологий изготовления костюма трехмерной формы из металла

Вид доспеха	Кольчатый доспех	Пластинчатый доспех	Латный доспех
Технология обработки различных видов металла	Вытягивание проволоки из куска железа, резка и скручивание проволоки в кольца	Изготовление плоских пластин бронзы, латуни, железа, чугуна и т.д., выкраивание и ковка мелких частей плоской формы	Изготовление плоских пластин из бронзы или стали, выкраивание и ковка объемных форм различной конфигурации
Содержание конструкции	Звенья, кольца соединенные между собой	Пластины, соединенные между собой кольцами или ремешками	Объемные детали, соединенные между собой металлическими сочленениям и стыками для сгибания суставов
Схема защитной одежды			

Традиционные способы трехмерного формообразования  
 костюма и его элементов

Способ трехмерного формообразования	Схема структуры	Материалы	Примеры костюма и его элементов
Обвязывание		Сухие стебли, волокна растений	
Переплетение		Сухие стебли, волокна растений и шерсти	
Вязание		Скрученные нити растений и шерсти	
Валяние		Шерстяные волокна	
Формование		Кожа	

Способ трехмерного формообразования	Схема структуры	Материалы	Примеры костюма и его элементов
Стягивание		Кожа	
Вырезание		Древесина	
Соединение малых плоских форм «Модуль-элемент-модуль»		Бронза, латунь, железо, чугун и т.д.	
Соединение малых звеньевых форм «Модуль-модуль»		Железо	
Соединение больших объемных форм «Модуль-элемент-модуль»		Бронза или сталь	

Исследование развития примитивных технологий трехмерного формообразования бесшовного костюма и его элементов из органических и неорганических материалов позволило выделить основные способы изготовления объемных изделий: вырезание, вычленение из объемных форм (древесина); обвязывание нитеобразных элементов (сухие стебли, волокна растений); переплетение нитеобразных элементов (сухие стебли, луб и скрученные волокна растений); вязание нитеобразных элементов (нити растений и шерсти); валяние нитеобразных элементов (войлок); формование плоских материалов (кожа); стягивание плоских материалов за счет введения нитеобразных систем фиксации (кожа); соединение малых плоских, кольцеобразных и больших полуобъемных форм (металла).

Результаты исследования способов трехмерного формообразования костюма и его элементов продемонстрированы в таблице 4 «Традиционные способы трехмерного формообразования костюма и его элементов»

Развитие и симбиоз ручного и производственного процесса изготовления изделий привело к тому, что способы трехмерного формообразования, которые применялись для изготовления малых форм — элементов костюма, сегодня используются в качестве приемов для создания более объемных форм — одежды.

### **1.3. Анализ производственных технологий и методов бесшовного формообразования костюма в XX–XXI вв.**

Совершенствование техники в эпоху промышленной революции XX века позволило вывести традиционные ручные процессы изготовления одежды на новый, автоматизированный уровень, который обеспечивает сокращение времени на изготовление изделий и упрощает процесс производства, практически исключая человеческий труд. Вместе с тем, используя за основу примитивные технологии и необработанные материалы, дизайнеры часто применяют ручной способ изготовления одежды, экспериментируя таким образом с формой, фактурой и текстурой материала.

Рассмотрим развитие технологий применения различных материалов в аспекте влияния на развитие формы одежды в XX–XXI вв., таких как обработка кожи, войлоковаление, вязание, ткачество и обработка металла (пластмассы, керамики, дерева и стекла).

### **1) Формообразование одежды на основе технологий обработки кожи**

На современном этапе развития кожевенной промышленности процедура обработки кожи носит похожий характер с первичными ручными методами, но выполняется с использованием более сложных химических веществ и специального оборудования, повышающего качество и ускоряющего процесс обработки: барабаны отмоки, золена, дубления и крашения, мездрильные станки, двоильные станки, строгальные станки, вакуумные сушилки, прессы, шлифовально-обдувочные станки, сушилки для растяжки и т. д. Целью развития технологий обработки кожи является увеличение прочности, эластичности и возможности формования материала.

Появление дополнительных технологий обработки кожи как окрашивание и шлифование способствует увеличению эластичности кожи, которая дает возможность изготавливать одежду с наибольшей степенью драпируемости или высоким уровнем прилегания к фигуре человека. Такие технологии, как жировое дубление, хромовое дубление, нанесение лаков позволяет увеличить ассортимент материалов из кожи с различной степенью эластичности, упругости и толщины: замша, велюр, нубук, лаковая кожа, олимпик, лайка, анилиновая кожа и т. д. Технологии тиснения позволяют придавать коже рельеф с помощью прессования специальными пластинами, на которых выгравирован рисунок.

Развитие технологии прессования кожи дало возможность формировать объемные и криволинейные детали изделий. Способы формования объемных и криволинейных деталей изделия разработаны Барановой Е. В., Стельмашенко В. И. и Лисиенковой Л. Н. [53].

Изготовление объемных форм деталей одежды из кожи с помощью прессования способствуют созданию одежды, повторяющей криволинейную форму человека без применения различных выточек. Примером могут послужить

прессованные топы от Александра Маккуина (Alexander Mc Queen) созданные в 1999 году и бренда Chloe в 2011 году (Рис. П.1.16).

## **2) Формообразование одежды на основе технологий войлоковаления**

Современное изготовление войлочных изделий происходит на промышленном уровне и основывается в большинстве случаев на изготовлении обуви, аксессуаров или головных уборов.

Автоматизированный способ изготовления трехмерных форм головных уборов и обуви предлагает процессы, сходные с ручным методом изготовления [70]: прием, отбор и обработка сырья; разрыхление; смешивание и замасливание; чесание смеси и формирование холста; свойлачивание; валка; формование; сухая отделка. Совершенствование автоматизации процессов производства нацелено на усложнение технологий изготовления, которые увеличивают качество изделий – длительное сохранение формы, пластичность, устойчивость к истиранию.

Изготовление трехмерной бесшовной формы одежды способом войлоковаления является временно-затратным и многооперационным процессом, в основе которого лежит изготовление формы-матрицы. Из-за чего выполнение широкого ассортимента одежды, отвечающего современным тенденциям в промышленной сфере является трудоемким производственным процессом, затрудняющим экономическую рентабельность. Сегодня автоматизация процесса изготовления одежды из войлока основывается прежде всего на конструктивном способе путем выкраивания частей из готового войлочного материала и их соединения швейным способом.

Отечественные научно-практические исследования использования войлочных материалов в проектировании современной одежды «Разработка новых методов художественного проектирования одежды и обуви из валяльно-войлочных материалов» [65] автора Понсар А. В., «Разработка метода проектирования и изготовления деталей одежды объемной формы из войлока» [55, 70] автора Садыковой Ж. А. позволяют развивать существующие методы войлоковаления в промышленной сфере.

На сегодняшний момент в индустрии моды способ изготовления трехмерных бесшовных форм одежды по технологии войлоковаления осуществляется и ручным способом. Экспериментирование с цветовыми сочетаниями, фактурой и формами войлочных изделий ручным способом позволяет изготавливать плоские или трехмерные формы одежды широкого ассортимента (Рис. П. 1.17) [128].

Технология изготовления оболочки костюма из войлока обеспечивает воссоздание сложной пространственной формы с определенной жесткостью и прочностью, имеющую незначительную толщину материала по отношению к объектам формы. Вследствие этого обеспечивается экономичное использование материала.

### **3) Формообразование одежды на основе технологий вязания**

Если в контексте выполнения неограниченного ряда пространственных форм различной фактуры и цвета войлоковаление развивается, в основном, в ключе ручного способа создания одежды, то развитие технологий изготовления цельновязаных изделий с XIX века до настоящего времени позволяет выполнять многовариативность форм одежды автоматизированным способом.

Внедрение компьютерных систем в технологию автоматического цельного вязания позволила создавать сложные трехмерные формы, используя различную комбинацию вязок и плотностей в одном изделии. Данный процесс заключается в нескольких основных этапах: трехмерное моделирование формы одежды в определенных трехмерных компьютерных программах; загрузка алгоритмов типов и плотностей вязки; вывод алгоритмов на машину трехмерной вязки, которая изготавливает изделие в автоматическом режиме.

Автоматическое трехмерное бесшовное вязание трикотажной одежды различного назначения стало доступным, когда японская компания Shima Seiki разработала технологию Wholegarment, в общих чертах сходную с перчаточным автоматом, но производящую различную вариацию форм изделий с автоматизированной дизайн-системой серии ATD. Серия вязальных машин SWG по данной технологии продемонстрирована компанией на XII выставке ITMA в Милане в 1995 г. Ключевым моментом в проектировании вязаной бесшовной

формы одежды стала в 2007 г. разработка дизайн-комплекса SDS-ONE APEX, позволяющая моделировать в виртуальной цифровой среде с помощью использования программных модулей трехмерной графики цельновязанные изделия под названием Wholegarment [137].

В данный момент существует множество фирм, занимающихся разработкой и производственным выпуском оборудования по изготовлению цельного трикотажа (Stoll, Santoni и т. д.), что, собственно, говорит о постоянном усовершенствовании технологии трехмерного проектирования вязаных изделий.

Технология, производящая цельную форму одежды из трикотажа, являясь альтернативой конструктивному методу формообразования одежды, расширяет ассортимент бесшовной одежды, удовлетворяя разнообразные потребности потребителей. Это подтверждает постоянное сотрудничество фирм, специализирующихся на производстве цельных форм изделий (Luna, Cifra и Darquer) с модными брендами (Gap, Banana Republic, Adidas, Reebok и др.).

Одним из таких примеров взаимоотношений является сотрудничество итальянского производителя трехмерной трикотажной формы одежды Cifra с израильской компанией Teflon, которая специализируется на производстве и продаже высококачественного мужского и женского цельного белья [145]. Результатом симбиоза компаний является новая линия уникального трикотажного белья bodyshapers, выставленная на крупнейшей выставке спортивной индустрии в мире ISPO в Мюнхене. Изделия изготавливаются по технологии, запатентованной компанией Cifra, заключающаяся в основовязальном бесшовном производстве. Принципом изготовления данной продукции является одношаговая операция формообразования трехмерной цельной одежды. Технология позволяет создавать изделие с разной плотностью и видом вязки на определенных участках, обеспечивая поддержку мышц при физических нагрузках.

Используя преимущества высоких технологий, фирма Teflon является лидером на рынке цельных форм одежды, которая сотрудничает с такими мировыми брендами, как Victoria's Secret, Donna Karan, Gap и Banana Republic.

Для изготовления одежды бренды все чаще используют технологию бесшовного вязания, так как в сравнении с тканью, трикотаж имеет большую растяжимость и пластичность. Для создания трикотажных изделий используют различные виды пряжи и нитей: хлопчатобумажную, шерстяную и полушерстяную пряжу, искусственный вискозный, медноаммиаковый и натуральный шелк, нити капрона. Благодаря большей воздухопроницаемости, гигиенические свойства трикотажа выше, чем у текстиля, что существенно важно для изготовления, к примеру, нижнего белья и спортивной одежды [3].

Примеры одежды, выполненные по технологии автоматизированного трехмерного вязания, представлены на рисунках П.1.18, П.1.19.

Применение технологии автоматизированной бесшовной вязки в изготовлении одежды обеспечивает значительную производственную экономию на человеческих ресурсах, электроэнергии, и отходах, производя при этом готовое изделие без обрезки и сшивания за короткий промежуток времени.

Примером производственной технологии выполнения цельновязаных изделий является устройство испанского дизайнера Джерарда Рубио (Gerard Rubio) Open Knit. Машина, словно широкоформатный плоттер, «печатает» ряды петель, постепенно выводя готовую бесшовную форму одежды (Рис. П.1.20) [135].

Еще один пример похожей технологии вязания представлен компанией Ministry of Supply, основанной в 2012 году группой выпускников Массачусетского технического института. Путем роботизированного трехмерного вязания «3D Print-Knit» компания выпускает блейзеры из материала, разработанного в НАСА с фазовым переходом терморегулирования тела, обеспечивающего комфорт в любой среде (Рис. П.1.21). В составе материала – растяжимая влагоотталкивающая смесь вискозы и полибутилентерефталата [133]. На изготовление цельной формы блейзера уходит всего примерно полтора часа. Некоторые участки изделия тоньше других, в соответствии с моделью вентиляции, что обеспечивает оптимальное удобство при ношении. По словам одного из основателей и директоров

компании Ministry of Supply – Джихана Амарасиривардена, концепция производства данной одежды лежит в персонализации и экологичности. Персонализация реализуется тем, что человек, пришедший в магазин, подвергается трехмерному сканированию, после чего, на основе цифровых мерок, изготавливается идеально сидящее на фигуре изделие. Экологичность такой технологии заключается в том, что она позволяет значительно сократить количество необходимого материала, а также изготавливать одежду небольшими партиями оригинального дизайна, отказавшись от распространенной концепции массового производства.

#### **4) Формообразование одежды на основе технологий ткачества**

Текстильная ткань, используемая в легкой промышленности для изготовления одежды с использованием традиционного метода конструирования, имеет двуаксиальную структуру, состоящую из двух систем нитей. Активно развивающийся рынок специализированных технических изделий на тканой основе определяет необходимость обеспечения ряда специфических свойств, которые реализуются путем создания цельных или малошовных текстильных оболочек и введению дополнительных нитей в переплетение ткани.

В последнее десятилетие в научно-текстильных центрах США, Германии, Великобритании, а также в России, главным образом в Российском государственном университете имени А. С. Косыгина, такими авторами, как Лаврис Е. В., Кутуевой Е. С., Якимовой Е. А. [35, 37, 86] интенсивно ведутся проектные разработки новых высокоэффективных малооперационных бесшовных технологий, которые позволят перейти на новый уровень производства текстильных бесшовных изделий. Следует рассмотреть основные достижения исследований одной из таких работ, а именно Лаврис Е. В., исследовавшей «научное перспективное направление по разработке методов проектирования и способов изготовления малошовных три- и мультиаксиальных оболочек в соответствии с заданной пространственной формой и параметрами структуры костюма» [37, С. 7]. В своей исследовательской работе она предлагает способ проектирования «объемной одежды, основанный на введении дополнительных

формообразующих нитей с перегибом в триаксиальную структуру ткани, позволяющий обеспечить формоустойчивость конструкции и улучшить эксплуатационные свойства малошовных изделий» [37, С.16] (Рис. П.1.22). Трехмерная форма одежды задается путем переплетения нитей с треугольной ячейкой. На сложных криволинейных участках для сохранения равномерной структуры задаются дополнительные переплетения. Изделие проектируется в трехмерном редакторе, автоматически задается особенность переплетения нитей, после чего данная информация передается автоматизированному ткацкому станку.

Данные исследования имеют фундаментальный характер и являются базой для развития высокоэффективных малооперационных промышленных технологий, нацеленных на исключение швейных операций из процесса изготовления одежды криволинейной формы методом ткачества.

#### **5) Формообразование одежды на основе технологий обработки металла**

В отличие от развития технологий обработки кожи, войлоковаления, вязания и ткачества, традиционные способы использования металла в изготовлении одежды не совершенствовались, но применение таких способов организаций трехмерных форм прослеживается в изготовлении концептуальной одежды из твердых материалов в модной индустрии [92], а также в производстве элементов костюма технического назначения.

Интерес ведущих модельеров к данному типу технологии проектирования одежды возникает по причине возможности повторить очертание человека более точно - без швов, выточек и складок. К примеру, на основе пластинчатых доспехов, в 1996 году Пако Рабанн (Paco Rabanne) изготовил полуприлегающую одежду из пластиковых и металлических пластин; в 2012 году креативный директор бренда Paco Rabanne Маниш Арора (Manish Arora) повторил эту технологию, создав изделия с наибольшим облеганием к фигуре (Рис. П.1.23). В 1999 году Александр Маккуин (Alexander McQueen) по аналогии конструкции кирасы создал металлический корсет из 97 алюминиевых прутьев, в котором

нагрудник и спинка крепятся по бокам винтами. На основе технологии изготовления кольчатых доспехов в коллекции 2012 года брендом Yves Saint Laurent представлены несколько облегчающих костюмов, выполненных из соединенных между собой колец (Рис. П.1.24). Создание концептуальной одежды из других твердых материалов, таких как стекло, керамика и дерево, наблюдается в творчестве следующих дизайнеров и художников: Карен Ламонт (Karen LaMonte), Ли Ксяй Фенг (Li Xiaofeng), Паулин Маркомб (Pauline Marcombe) и др.

В промышленности технология формообразования кольчатого доспеха послужила основой в изготовлении элементов защитного костюма из нержавеющей стали. Такими примерами являются защитные перчатки Российской компании «Партнер» и обувь «Paleo Barefoots» немецкой компании GoSt-Barefoots (Рис. П.1.25, П.1.26) [116].

Способы изготовления одежды из металла в аспекте автоматизированного производства нашли свое применение в создании современных изделий защитного назначения, но технологические особенности, которые бы повлияли на развитие формы, так и не были развиты.

Развитие технологий обработки органического сырья заключается в постепенной автоматизации традиционных ручных технологий изготовления бесшовной формы одежды в ключе изготовления *двухмерных плоских, полубъемных и трехмерных объемных форм одежды*, ее отдельных участков и деталей. В аспекте промышленного производства, плоские формы одежды могут изготавливаться путем ткачества, валяния и выделки кожи, полубъемные детали одежды создаются способом ткачества и формования кожи, объемные трехмерные формы одежды производятся по технологии трехмерного вязания.

## ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 1

Проведенное исследование позволило сформировать теоретическую основу развития бесшовных элементов костюма из сырья животноводческой и растениеводческой отраслей, в которой изложено множество ручных и механизированных способов изготовления двухмерных плоских, полуобъемных и трехмерных объемных форм одежды, ее отдельных участков и деталей.

Развитие бесшовных элементов костюма происходило согласно трехэтапному расширению инструментальной базы обработки и способов изготовления материалов:

1. Первый этап развития бесшовного костюма заключается в изготовлении из малообработанного сырья двухмерных полотен путем обвязывания высушенных и вымоченных стеблей и волокон растений, отбивания и соединения полос древесной коры, высушивания шкуры, использования естественно-свалявшейся шерсти, которые служили в качестве примитивных накидок. Полотна получались жесткими и из-за этого крепились на фигуру человека с минимальной степенью прилегания, образуя открытую, объемную конструкцию одежды геометрической или произвольной формы.

2. На втором этапе развития бесшовного костюма форма изделий усложняется за счет становления и совершенствования ручных способов изготовления двухмерных форм одежды с применением технического инструментария, которые позволили выполнять более пластичные материалы:

– появление специальных скребков позволило выделывать из шкуры тонкую кожу, что впоследствии привело к развитию технологии ее расслоения;

– освоение ручного способа валяния благодаря появлению инструментов для стрижки животных, чесания, разрыхления и свойлачивания волокон шерсти позволило задавать выкладкой вариативную толщину шерстяного полотна криволинейной конфигурации с проймой посередине;

– развитие метода переплетения, технологий скручивания и утончения нитей с использованием веретена, прялки и ткацкого станка положило начало освоения

технологии ткачества мягкого и пластичного материала с высоким уровнем драпируемости и возможностью закладывания складок, гофрирования и плиссирования.

3. На третьем этапе развития бесшовного костюма происходила отработка способов изготовления плоского материала на трехмерных элементах костюма (обвязывание, переплетение, вязание, валяние, формование, стягивание). Благодаря использованию специального оборудования, ручные формообразующие манипуляции некоторых методов изготовления элементов костюма преобразовались в автоматизированные процессы производства бесшовной одежды из материала с заданными криволинейными характеристиками: изготовление полуобъемных форм деталей одежды путем трехниточного ткачества, формование кожи; формообразование объемной одежды на основе автоматизированного трехмерного способа вязания.

4. Усложнение форм костюма происходит по мере совершенствования технического инструментария производственного процесса, при этом, общие принципы воспроизведения изделий не меняются. Из этого следует, что ручные способы трехмерного формообразования могут являться прототипами для изготовления современной одежды с применением высокотехнологичных производственных ресурсов.

## **ГЛАВА 2. КЛАССИФИКАЦИЯ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ БЕСШОВНЫХ СТРУКТУР КОСТЮМА И ТЕХНОЛОГИЙ АДДИТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

Традиционные способы формообразования бесшовной одежды, рассмотренные в I главе, встречающиеся с начала развития технологий изготовления одежды, являются прототипами для современных технологий проектирования одежды на уровне процессов образования пространственной формы.

Появление основанных на синтетических полимерах новых материалов, таких как резина, пластмасса и т. д., и технологий промышленного производства способствует экспериментированию дизайнеров в XXI веке в области проектирования бесшовных структур костюма [41]. Во второй главе дана комплексная классификация современных методов формообразования бесшовных структур костюма. Каждый метод по-своему специфичен и имеет определенный операционный прием образования формы костюма, что позволило выделить два направления создания бесшовной структуры костюма:

- а) по принципу трансформации и деформации пластичной основы;
- б) по принципу наслоения материала.

Некоторые инновационные технологии формообразования по принципу наслоения материала, такие как аддитивные технологии, являются косвенной интерпретацией «низких» технологий изготовления одежды и отражают четвертый этап развития бесшовного костюма.

Исследование технологий и практического опыта выполнения одежды в XXI веке, позволило выявить, что на основе наслоения материала формируется оболочковая структура бесшовного костюма, а на основе трансформации и деформации пластичной основы формируется объемно-пространственная структура бесшовного костюма.

## 2.1. Формообразование трехмерных объемно-пространственных структур костюма по принципу трансформации и деформации пластичной основы

Исследование различных технологий проектирования одежды показало, что такой костюм может образовываться способом *трехмерной объемно-пространственной трансформации пластичной основы*. В контексте исследования трехмерных технологий формообразования одежды, под пластичной основой понимается тканый, нетканый синтетический, вязаный, кожаный, или войлочный отрезок материала плоской или трубчатой формы.

*Формообразование костюма по принципу трансформации пластичной основы происходит за счет фиксирования плоской основы на фигуре человека с заданной вариативностью форм различных элементов костюма.*

Наложение, фиксирование и изменение формы костюма происходит за счет выполнения определенных манипуляций.

К традиционным способам формообразования можно отнести *обертывающий способ*, когда плоская пластичная основа накладывается на фигуру по спирали; *накидной способ*, заключающийся в наложении плоской основы на верхние конечности человека; *опорный способ*, когда основа с отверстиями накладывается на фигуру человека путем продевания конечностей или всей фигуры в отверстия плоского материала или внутрь трубчатой формы (Таблица 5).

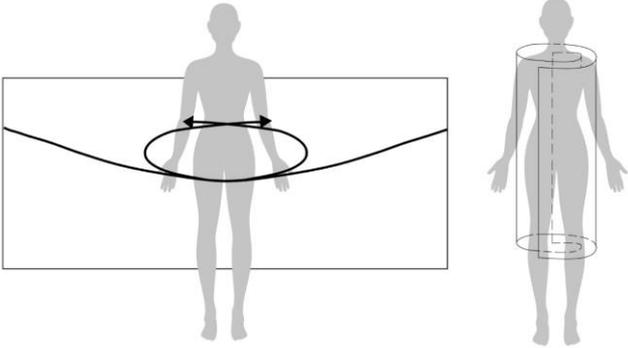
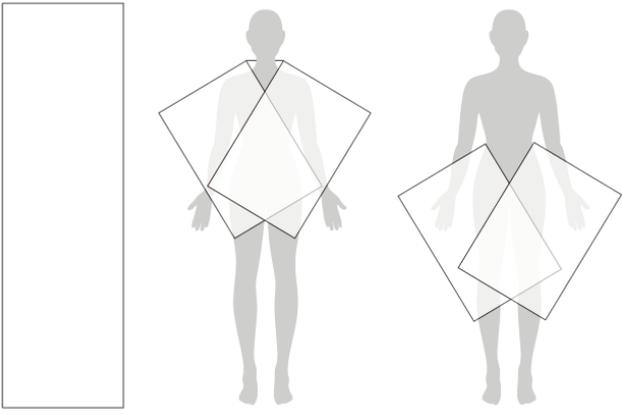
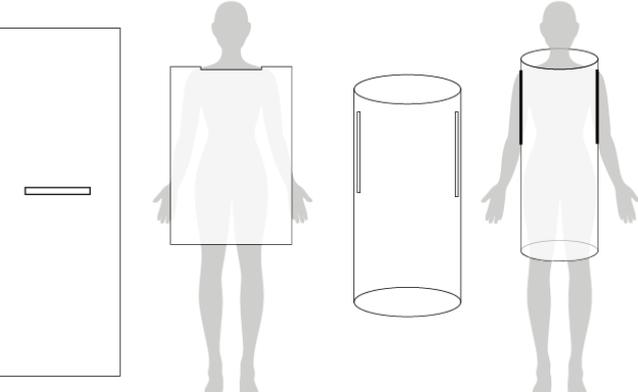
Фиксация на фигуре человека и трансформация формы пластичной основы может производиться с помощью соединительных систем и прорезных структур [63].

*Соединительные системы* представляют собой такие системы, которые объединяют различные участки пластичной основы и разделяются на точечные, линейные и плоскостные (Рисунок 1). К точечным соединительным системам относятся нитеобразные системы, которые соединяют два участка основы путем связывания отходящих от каждого участка нитеобразных элементов, и элементы в

виде парных застежек, как крючки, пуговицы, клепки и т. д. К линейным соединительным системам относятся такие элементы, как замки, липучки лентообразной формы, магнитные полосы и т. д. К плоскостным соединительным системам можно отнести продевание одного участка пластичной основы в отверстие, расположенное на другом участке.

Таблица 5

Формообразование трехмерной объемно-пространственной структуры костюма по принципу трансформации пластичной основы

Способы формообразования	Схема
Обертывающий	
Накидной	
Опорный	

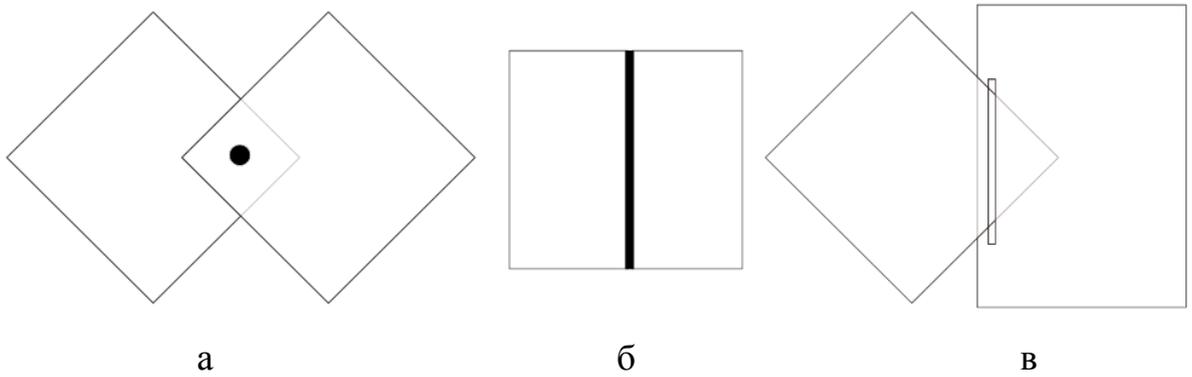


Рисунок 1 - Соединительные системы, фиксирующие пластичную основу на фигуру человека и выполняющие трансформацию формы: (а) точечная; (б) линейная; (в) плоскостная

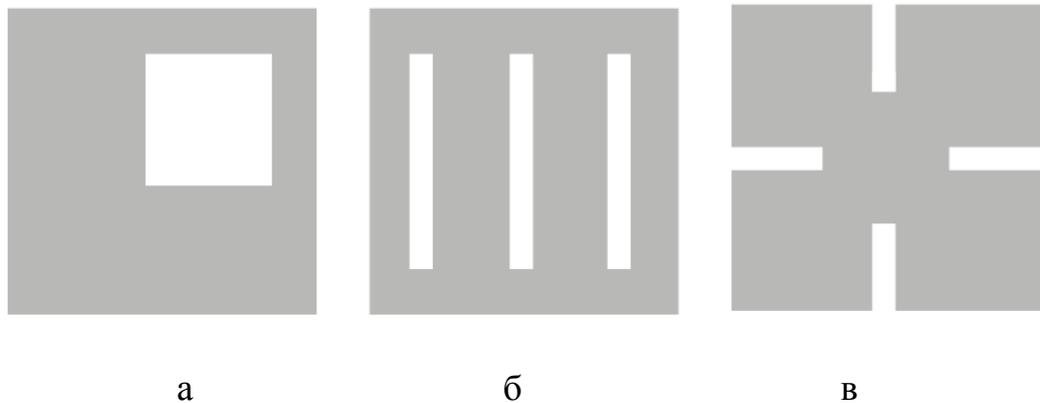


Рисунок 2 - Прорезные структуры: (а) перфорация; (б) внутренний срез; (в) внешний срез.

Ярким примером одежды, формообразующим вектором которой является трансформация плоской основы в объемную путем применения в основе линейных систем фиксации в виде молний, является коллекция «SPIRAL ZIP» 2017 г. бренда Issey Miyake (Рис. П.2.1). Плоские геометрические формы при эксплуатации преобразуются в трехмерные мягкие предметы одежды, такие как платья, куртка, юбка и т. д.

*Прорезные структуры* представляют собой выполненные на плоской основе линейные или фигурные прорезы, с помощью которых плоская основа на фигуре человека преобразовывается в объемно-пространственную форму, трубчатая основа приобретает сложную криволинейную или геометрическую форму [21]. Применительно к формообразованию бесшовной структуры костюма, можно

выделить несколько способов прорезных структур: перфорация, внутренний срез, внешний срез (Рисунок 2).

Рассмотрим данные способы разрезов в контексте формирования бесшовной структуры костюма, а также современных технологий изготовления.

Перфорация представляет собой нанесение сквозных отверстий на плоской основе определенным оборудованием [11]. В контексте проектирования цельной оболочковой структуры костюма перфорация может иметь вид отдельных отверстий на плоской основе, которые служат для фиксации на фигуре человека путем продевания рук, головы или ног в данные отверстия.

Перфорации также могут являться системой отверстий, благодаря которым изделие облегает фигуру без применения вытачек или подрезов. Примером послужит изделие автора Рудневой Т. В. Взяв за основу бионический аналог – сетчатую структуру паутины и ячеистую структуру крыльев насекомых, автор разработала способы изготовления армированных оболочек костюма, которые образуются путем перехода плоской основы в «пространственную форму и принимающие заданную форму без образования складок» [68, С. 111].

Один из способов формообразования заключается в создании оболочки костюма с нерегулярной сетчатой структурой, плотно облегающей криволинейную поверхность фигуры человека. Суть данного способа заключается в следующем: на плоской основе вырезаются ячейки по заданному рисунку, после чего перфорированная плоская основа закладывается на поверхность сложной пространственной формы в виде фигуры человека с плотным облеганием. В данном примере для скрепления основы используется единственный боковой шов.

1) Внутренний срез представляет собой линейную прорезь внутри основы, которая не затрагивает краев и, таким образом, не нарушает цельную структуру пластичной основы. Бесшовная структура одежды с внутренними срезами формируется в процессе надевания данного изделия на фигуру человека. Ярким примером формообразования бесшовных структур костюма с применением внутренних срезов являются изделия иерусалимского дизайнера

Иджак Эбикейсис (Yitzhak Abecassis). Автор для изготовления одежды использует плоский прямоугольный эластичный материал с надрезами в определенных местах. Одежда с отверстием фиксируется в определенном алгоритме на фигуру человека, криволинейная ветвистая поверхность которой служит, в свою очередь, фиксирующим элементом (Рис. П.2.2).

2) Внешний срез представляет собой линейный срез на внешней стороне криволинейного или плоскостного объекта. С помощью выполнения данного типа разреза может формироваться объемная форма костюма и ее фиксация на фигуре путем вдевания определенных участков в отверстия и разрезы пластичной основы. При формировании бесшовных структур костюма, участки материала, образованные внешними срезами, также могут связываться или переплетаться, обволакивая и фиксируясь на фигуре человека.

Примеры костюмов, форма которых образовывается за счет комбинаторного применения прорезных структур и соединительных систем, встречаются в коллекциях таких дизайнеров, как Андреа Джапен Ли (Andrea Japei Li), Йоджи Ямамото (Yohji Yamamoto) и Дик Кайек (Dice Kayek) (П.2.3) [146, 92].

Проектирование бесшовных структур костюма по принципу трансформации пластичной основы с использованием систем срезов подтверждается рядом отечественных патентов за последние 20 лет, которые являются подтверждением существующего движения, направленного на развитие минимизации производственных процессов, экономии ресурсов и материалов, а также увеличения вариативности форм одного изделия за счет ее трансформации. Существует ряд патентов на полезную модель, формообразование которых достигается путем соединения различных участков пластичной основы методом введения внешних и внутренних срезов и систем точечной фиксации [56, 57, 58, 59, 61].

Рассмотрев способы формообразования бесшовных структур костюма с использованием прорезных структур и соединительных элементов, приведем краткий обзор некоторых современных технологий выполнения перфораций и срезов.

Перфорации и срезы, являющиеся видами декоративной и конструктивной отделки, на сегодняшний день изготавливаются по следующим технологиям [34]: вырезание с применением ножниц неосыпаемых или трикотажных полотен; прорубание с помощью специальных дыроколов или прессов, применяющихся в основном на кожевенном материале; выжигание по ткани профессиональным оборудованием; вырезание путем бесконтактного метода лазерной обработки текстиля, позволяющий работать с тканями, подверженными сильной осыпаемости.

Для промышленного производства бесшовной одежды по принципу трансформации пластичной основы с прорезной структурой, наиболее значимой технологией является автоматизированная лазерная обработка текстиля, что обосновано высокой производительностью резки за короткий промежуток времени (некоторые станки воспроизводят линейную резку со скоростью 3м/с), а также удобством в использовании. Лазерная резка представляет собой технологию резки и раскроя материалов, в том числе и тканых, использующая лазер высокой мощности, управляемый компьютером, и применяется на промышленном производстве [87].

Автоматизированные лазерные системы осуществляют процесс резки с точностью по заданной проектировщиком траектории. Процесс лазерной системы осуществляется следующими последовательными операциями: проектировщик задает векторную траекторию в графическом редакторе, отправляет файл в лазерную систему, после выбора типа материала и других настроек в системе производится автоматическая резка.

К примеру, высокопроизводительные широкоформатные планшетные лазерные системы линейки SP австрийской компании Trotec, с CO<sub>2</sub> излучателем и с рабочим полем до 2210 x 3210 мм обрабатывают широкий спектр искусственных и натуральных тканей, таких как хлопок, фетр, шелк, лен, полиэстер, рунная шерсть, флис, джинсовая ткань, алькантара и неопрен. В отличие от искусственной ткани с содержанием полиэстера на органических волокнах хлопка или льна при воздействии лазерного луча образуется кромка с

коричневым цветом, но данный эффект, по словам производителей лазерных станков, можно избежать, задав оборудованию определенные параметры [115]. Стоит отметить, что ткань для воспроизведения лазерных манипуляций накладывается на систему ручную.

Итак, соединительные системы и прорезные структуры по отдельности или в комбинации позволяют фиксировать пластичную основу на фигуре человека и одновременно создавать вариативную форму костюма. Пластичная основа плоской или трубчатой формы с гладкой поверхностью при трансформации и фиксации на фигуре человека может образовывать различный объем, драпировки, складки и заломы в запланированном и в случайном порядке, степень которых зависит от плотности используемого материала.

При задавании поверхности пластичной основы дополнительного рельефа можно регулировать объем формы костюма и траекторию заломов или складок. Такие манипуляции производятся путем предварительной деформации пластичной основы.

**Деформация пластичной основы**, рассматриваемая как преобразование плоской основы в объемную путем применения различных физико-химических манипуляций, задает наибольшую жесткость и дополнительный объем форме костюма. Деформация может происходить в контексте преобразования плоскости в трехмерную или двухмерную объемно-пространственную форму под влиянием внешних нагрузок и сохранять ее, когда нагрузки перестают действовать.

Деформация материала с целью выполнения трехмерной объемно-пространственной формы заключается в преобразовании основы на уровне формы: плоскому материалу задается объем, трубчатому материалу задается дополнительная криволинейность. Деформация материала при выполнении двухмерной объемно-пространственной формы осуществляется путем преобразования основы на уровне поверхности, при котором образуются вариативные рельефы.

Пластичная основа может деформироваться на уровне формы и поверхности за счет применения следующих видов деформации: *сжатие, растяжение, стягивание и изгиб*.

*Сжатие пластичной основы* происходит за счет тепловой обработки легкоплавкого синтетического материала, когда под воздействием высокой температуры длина нити сокращается вследствие усадки и перемещения волокон, осуществляется изгибание нитей и изменение угла между ними.

*Растяжение* плоской основы задается увеличением поверхности на отдельных участках материала путем физического или химического воздействия, формируя выпуклости и вогнутости. К примеру, формование кожи или синтетического материала путем увлажнения, нагревания, растягивания структуры материала на определенных участках плоскости и фиксации неровностей. Растягивание тканого материала осуществляется за счет изменения углов наклона между нитями основы и утка, в котором ячейка принимает вид параллелограммов, позволяющих производить значительную деформацию при наименьшем силовом воздействии [75, 80].

*Стягивание* плоской основы происходит за счет утягивания, встроенного в кулису нитеобразного элемента. Помимо образования произвольных объемных складчатых систем в пластичной основе такой прием может образовывать произвольные и заданные складчатые системы. Плотное стягивание основы в трубу обеспечит фиксацию одежды на фигуре.

Ярким примером использования в качестве формообразующего способа бесшовной структуры костюма стягивания пластичной основы являются костюмы бренда Mugler. В материал различной формы прокладывается линейная система из кулис. За счет стягивания шнуров образуется объемная складчатая форма с мягкими складками [54]. Такой принцип изготовления одежды также встречается в коллекциях Versace, Central Saint Martins, Richard Malone, Dion Lee и других брендов (Рис. П. 2.4).

Примером фиксации на фигуре и трансформации плоской основы в объемную с использованием вида деформации – стягивание является полезная

модель «Трансформируемый палантин», авторов Саватеевой Н. С. и Харьковской Г. Г. (Патент RU 132957 «Трансформируемый палантин»). Данный вид одежды в форме продольного вытянутого прямоугольника образует бесшовную структуру путем обертывания полотна и фиксации на фигуре человека в определенных местах с помощью затягивания продернутых внутрь кулис, а также с помощью точечной фиксации в виде шнуров и пуговиц [59].

*Изгиб*, как вид деформации пластичной основы происходит за счет задавания физическим усилием прямых граней путем складывания или формования материала. Виды деформации – растяжение и изгиб – может формировать криволинейную, прямолинейную и геометрическую складчатую систему поверхности пластичной плоской или трубчатой основы. Складки могут образовываться по всей поверхности основы, создавая ритмические чередования и группировки или на отдельных участках, выполняя роль векторов, по которым основа трансформируется в объемную форму. Ярким примером костюмов, где складки являются формообразующим элементом, являются платья Мариано Фортунни (Mariano Fortuny) и Иссея Мияке (Issey Miyake) [44, 95, 98].

Рассмотрим технологический пример закладывания складок методом растяжения в костюмах бренда Issey Miyake (Рис. П.2.5). На выкроенные детали одежды специальным раствором в виде реактивного клея, расширяющегося при высоких температурах, наносятся волнообразные линии или геометрические узоры. Детали с обеих сторон подвергают термической обработке. Таким образом, плоские выкроенные детали приобретают трехмерную складчатую форму за счет растяжения заданных линейных участков [130].

Рассмотрим технологические способы создания складчатой системы поверхности методом изгиба, образующейся путем деформации ткани с применением специальных видов влажно-тепловой обработки [125]: плиссирование, гофрирование, фактурная тесселяция, фальцевание. Форма складок «плиссе» заключается в том, что складки лежат параллельно, а ширина самой складки меньше подгиба. В форме складок гофре складка и подгиб одного размера и находятся в стоячем положении, создавая эффект гармошки [14].

Фактурная тесселяция заключается в закладывании прямолинейных складок по определенной геометрии, образуя квадратные и треугольные складки, которые образуют по отношению друг к другу острые углы и любое действие с одной складкой передается на другие.

Рассмотрим пример ручного способа изготовления гофрированных складок модного дома Diog (Рис. П.2.6). Ткань кладется между двумя листами картона с заранее заданной складчатой структурой, расправляется, складывается гармошкой и сворачивается в трубу, которая затем подвергается термической обработке. После нагревания и запекания конструкции извлекается ткань, имеющая стойкую гофрированную структуру.

Автоматизированный способ закладывания складок осуществляется специальным оборудованием и, в отличие от ручного, имеет увеличенный диапазон обработки материала. К примеру, установка ST 229L (Рис. П.2.7), предназначенная для гофрирования тканей с высоким содержанием синтетики, позволяет обрабатывать полотно с рулона неограниченной длины с рабочей шириной 3 м и 3,2 м [126].

Существуют также многофункциональные установки, которые закладывают высокую вариативность складок. К примеру, текстильная плиссировочная машина китайского производства DJ-217, оснащенная компьютерным управлением и сенсорным экраном, имеет широкий выбор шаблонов складок: прямые, обратные, волнообразные, узорчатые и комбинированные, а также формирует плиссе на различных видах технических и смешанных тканей [121] (Рис. П.2.8).

Фальцевание (от нем. falzen – складывать) представляет собой выполнение перегиба на материале [45], не подвергающегося деформации при разворачивании плоской основы. Применительно к изготовлению складчатой конструкции одежды, фальцевание осуществляется путем применения различных прессов и влажно-тепловой обработки. Технология способа образования сгиба ткани состоит в следующем: на деталь костюма с изнаночной стороны укладывается плоский шаблон определенной конфигурации относительно которого загибаются

с небольшим натяжением края детали; конструкция обрабатывается специальными средствами, происходит влажно-тепловая обработка [52].

Создание сгибов на материале методом фальцевания по определенной траектории позволяет выполнять складчатый рельеф на уровне поверхности, а также задавать определенный вектор складывания материала при наложении на фигуру человека и трансформации формы. Начальные элементы складчатой системы могут быть представлены линиями, поверхностями, а также объемными элементами. Повторяясь по какому-либо геометрическому признаку, данные элементы образуют динамическую складчатую систему, в которой наблюдается соподчинение как отдельных первичных элементов, так и всей формы изделия [28].

Складчатая трансформация плоской пластичной основы в трехмерную форму с заданным вектором перегиба, по аналогии с традиционным японским искусством оригами, прослеживается в ряде практических примеров костюма.

Образование бесшовной объемно-пространственной структуры с использованием заданных векторов перегиба и элементами прорезей встречается в костюмах лейбла «132.5» бренда Issey Miyake [24]. Совместно с экспертом компьютерных технологий Джун Митани (Jun Mitani), Иссей Мияке, используя математический алгоритм множественной регрессии, создает в трехмерном редакторе систему соединений и складок по определенным траекториям, обеспечивающую преобразование плоской пластичной основы в объемно-пространственную форму одежды различного ассортимента [130] (Рис. П.2.9). Разнообразные трехмерные фигуры складываются в двухмерные формы с заранее заданными прорезными структурами. Затем сложенные изделия подвергаются тепловому прессованию, благодаря чему одежда, надетая на человека, имеет складки, задающие изделию окончательную форму. В качестве материала Иссей Мияке использует переработанный полиэстер в соединении с другими волокнами, которые позволяют обеспечить высокую формовочную способность при закладывании складок, а также иметь высокие тактильные свойства [95]. Таким образом, концепция костюмов лейбла «132.5» «регенерация и воссоздание»

заложена не только в самом процессе формообразования, но и в использовании переработанных материалов.

Подобный способ формообразования прослеживается также в коллекции 2012 года *The Iteration* (от лат. «*iteratio*» – повторение) дизайнера Лизы Шахно (Lisa Shahno) [131] (Рис. П.2.10). Квадратная складчатая система и прорези позволяют трансформировать костюм с высокой вариативностью форм.

Деформация плоской пластичной основы путем выполнения комбинированных по размеру складок может сформировать криволинейную поверхность, которая сворачивается в трубу по форме, сопоставимой с фигурой человека.

*Итак, формообразование бесшовной структуры костюма по принципу трансформации пластичной основы происходит путем наложения плоского или трубчатого модуля на фигуру человека обертывающим, накидным и опорным способами, а также его фиксацией и трансформацией за счет введения соединительных систем (точечные, линейные и плоскостные) и прорезных структур (перфорации, внешние и внутренние срезы). Деформация пластичной основы посредством растяжения, сжатия и выполнения изгибов, придает форме костюма при ее трансформации дополнительный объем и жесткость. Выполнение линейных граней в материале путем фальцевания позволяет формировать складчатую структуру костюма по заданным векторам с устойчивой трехмерной конструкцией.*

Исследование способов и алгоритма изготовления бесшовной структуры костюма на основе трансформации и деформации пластичной основы оформлены в схему 2 «Алгоритм формообразования трехмерных объемно-пространственных структур костюма по принципу трансформации и деформации пластичной основы».

Данный алгоритм проектирования бесшовной структуры костюма из пластичной основы апробирован разработками четырех трансформируемых модулей одежды, форма которых основана на использовании простых геометрических фигур: цилиндр, квадрат, прямоугольник и круг.



Схема 2 - Алгоритм формообразования трехмерных объемно-пространственных структур костюма по принципу трансформации и деформации пластичной основы

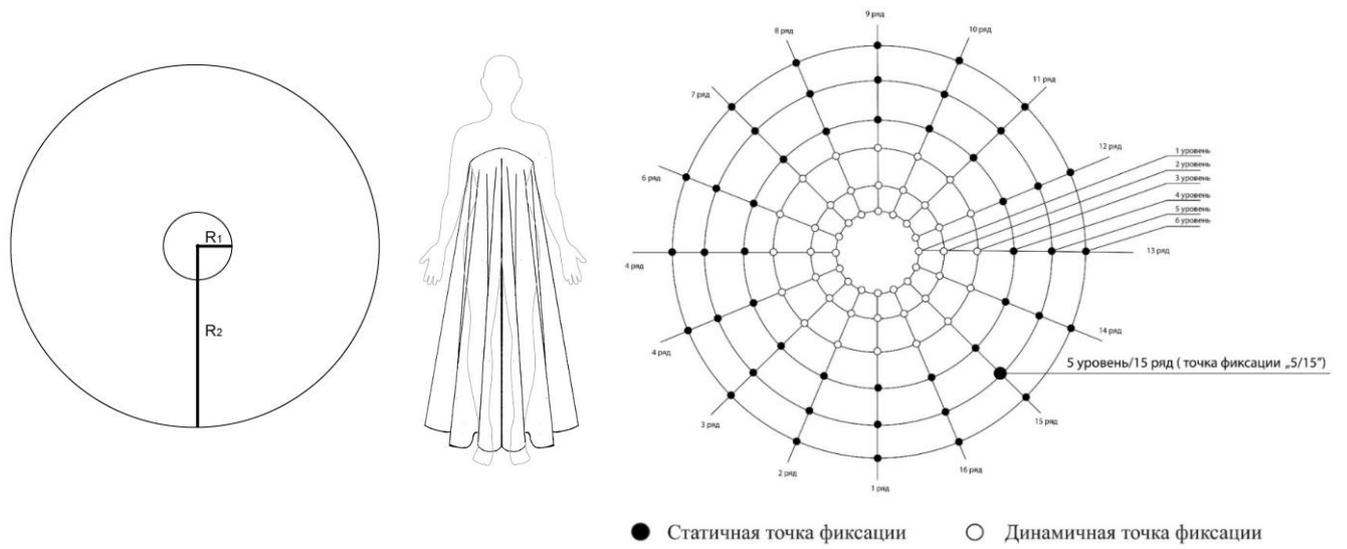
№ 1. Трансформируемый цилиндрический модуль одежды (Рис. П.2.11). В основе модуля лежит трубчатая основа с системой внутренних срезов. Трубчатый трехмерный модуль складывается в двухмерную форму по заданным линиям, образуя квадрат, тем самым обеспечивая удобное хранение изделия. Система сгибов во время эксплуатации данного модуля обеспечивает отсутствие случайных заломов и образует трехмерную форму с ярко выраженными гранями. Трансформируемый цилиндрический модуль имеет систему точечной фиксации,

которая обеспечивает крепление модуля на фигуре человека, тем самым преобразуя плоскую форму изделия в объемно-пространственную.

№2. *Трансформируемый квадратный модуль одежды* (Рис. П.2.12). Выполнена система внешних и внутренних прорезей плоской пластичной основы в форме квадрата, а также линии сгиба траектории. Модуль, сложенный по линиям сгиба, имеет, условно, квадратную форму, тем самым обеспечивая удобное хранение изделия. Трансформируемый квадратный модуль имеет систему точечной фиксации, которая обеспечивает крепление модуля на фигуре человека, преобразуя плоскую форму изделия в объемно-пространственную.

№3. *Трансформируемый прямоугольный модуль одежды*, имеющий складки типа гофре (Рис. П.2.13а), изготовлен из единого прямоугольного модуля, соединенный одним швом, образуя широкую трубу, стягивающуюся по верхней линии эластичной лентой. Модуль имеет систему фиксации, состоящую из статичных и динамичных точек фиксации (кнопки, крючок-петля, пуговицы), обеспечивающую пространственную трансформацию одежды путем соединения различных участков модуля (Рис. П.2.13б). Динамичные точки фиксации располагаются в нижней половине модуля, статичные точки фиксации располагаются в верхней половине модуля. На рисунке П.2.13 (в, г) изображен принцип фиксации прямоугольного складчатого модуля одежды на фигуре человека. На рисунке П.2.14 изображены варианты трансформации одежды из прямоугольного модуля.

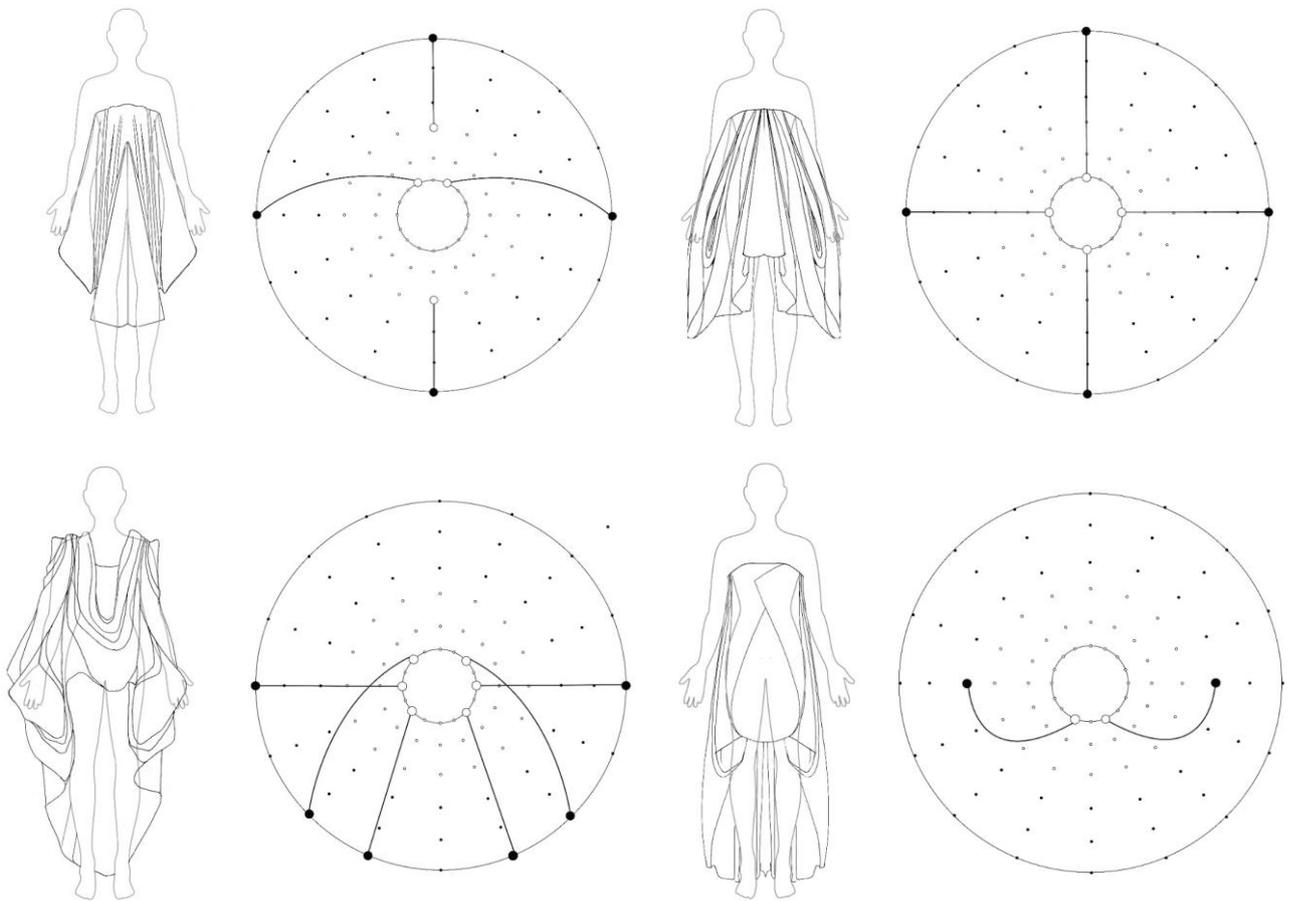
Пространственная трансформация модуля происходит следующим образом: динамичная точка фиксации, элементом которой является, к примеру, петля, соединяется со статичной точкой фиксации, элементом которой является, к примеру, пуговица. Таким образом, происходит соединение различных участков изделия нижней половины модуля с различными участками верхней половины модуля. Местоположение статичных и динамичных точек фиксации может варьироваться в зависимости от задуманного дизайнером уровня трансформации. Размер и количество складок определяет объемную форму силуэта изделия, поэтому ширина и направление складок могут варьироваться, а также иметь различные уровни наклона, исключая складки по горизонтали.



а

б

в



г

Рисунок 3 - Трансформируемый круглый модуль одежды: (а) модуль одежды, образованный двумя окружностями; (б) вариант фиксации одежды, где изделие фиксируется на уровне груди; (в) система координат статичных и динамичных точек фиксации; (г) варианты трансформации одежды

№4. *Трансформируемый круглый модуль одежды* (пат. 177336 Рос. Федерация. № 2016127275 ; заявл.05.07.2016 ; опубл. 15.02.2018, Бюл. № 5) [60] (Приложение 4).

Задачей полезной модели является создание упрощенного способа изготовления трансформирующейся одежды.

Технический результат достигается путем упрощения способа изготовления трансформирующейся одежды за счет исключения процесса сшивания отдельных элементов одежды и введения элементарных точечных средств фиксации в виде фурнитурных кнопок-застежек, соединяющих участки изделия друг с другом и тем самым обеспечивающих трансформацию изделия.

1. Одежда, изготовленная из единого модуля, образованного окружностями, одна из которых формирует отверстие, имеющего средства фиксации, обеспечивающие пространственную трансформацию одежды, отличающаяся тем, что модуль круглой формы имеет располагающиеся на радиальных линиях точечные средства фиксации в виде фурнитурных кнопок-застежек.

2. Одежда по п. 1, отличающаяся тем, что модуль образован двумя окружностями с радиусами  $R1=(Oг1+Псо)/2\pi$ , где  $Oг1$  – обхват груди человека на уровне подмышечных впадин,  $Псо$  – прибавка на свободное облегание;  $R2=(Oг1+Псо)/2\pi+Ди$ , где  $Oг1$  – обхват груди человека на уровне подмышечных впадин,  $Псо$  – прибавка на свободное облегание,  $Ди$  – длина изделия.

Проведенный научно-технический информационный поиск показал, что подобный принцип изготовления трансформирующейся одежды не описан, что соответствует критерию «новизна».

Одежда может быть изготовлена из различных материалов, что соответствует критерию «промышленная применимость».

На рисунках 3а, 3б, 3в изображен модуль одежды, образованный двумя окружностями, одна из которых образует отверстие. Ряд №1 находится на уровне фронтальной оси симметрии фигуры человека. Последующие ряды располагаются по радиальным линиям, расстояние между которыми определяется дизайнерским выбором. Уровни располагаются на окружностях, радиус которых определяется

дизайнерским выбором. На рисунке 3г изображены варианты трансформации одежды, выполненные из трансформируемого модуля.

Проектирование подобных костюмов с гармонизацией объемной формы, имеющей визуальную закономерность пространственных связей, имеет высокий уровень сложности и затрачиваемого времени при выполнении поиска вариативных силуэтов ручным способом. Альтернативным способом проектирования бесшовных структур костюма по принципу трансформации и деформации пластичной основы является использование различных систем автоматического проектирования (САПР), нацеленных на трехмерную визуализацию костюма, базирующихся на принципах развертывания или надевания конструкций на виртуальный манекен (i-Designer, Marvelous Designer 7) [47]. Благодаря встроенной базе данных параметров материалов, которая может пополняться пользователем, и встроенному модулю симулирования поведения ткани в изделии, САПР (Maya, Amapi 3DTM, LightWave) может учитывать визуальные и механические характеристики материала [20]. Демонстрационные модули некоторых САПР симулируют поведение ткани на движущемся манекене (ходьба, приседание, манипуляция конечностями и т. д.) [62].

Итак, бесшовные структуры костюма из пластичного материала могут изготавливаться на основе трансформации и деформации заранее заготовленной пластичной основы. На сегодняшний день существуют такие технологии изготовления одежды, которые одновременно создают материал и форму костюма по принципу наложения материала, рассматриваемые в следующем разделе.

## **2.2. Формообразование трехмерных оболочковых структур костюма по принципу наложения материала**

Формирование оболочковых структур костюма путем **наложения материала** основывается на последовательном увеличении количества элементов или массы вещества до образования трехмерного изделия.

В ходе проведенного анализа особенностей различных способов воспроизведения оболочковых структур костюма, были найдены некоторые отличия и сходства в аспекте процесса бесшовного формообразования объектов, что позволило сделать внутреннюю классификацию по способу их образования: **коконообразный и контурообразный способ формообразования.**

### **Коконообразный способ формообразования**

*Коконообразный способ формообразования костюма заключается в том, что трехмерная оболочка создается путем наслаивания какого-либо материала на криволинейную поверхность формы или каркаса (Рисунок 4).*

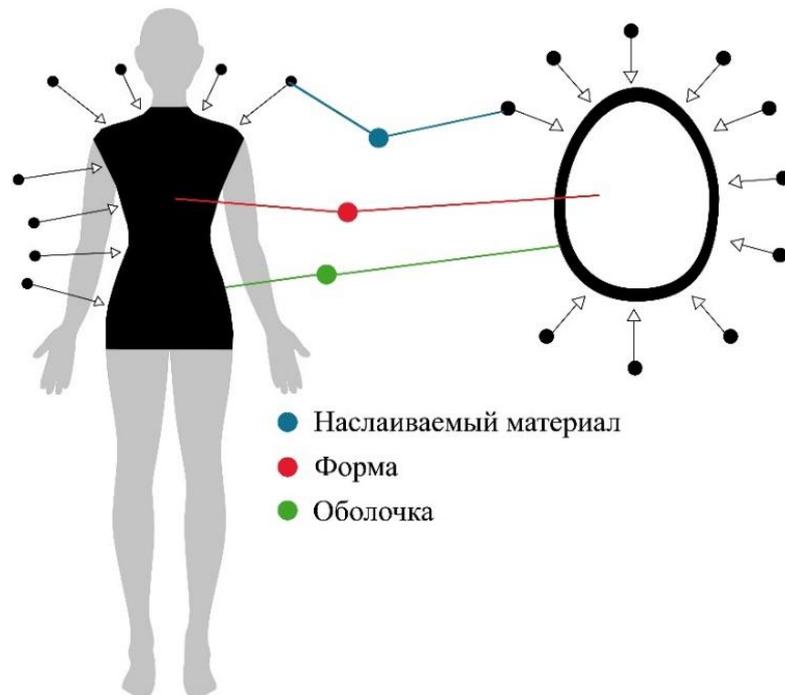


Рисунок 4. Коконообразный способ формообразования одежды

Для получения коконообразной оболочковой структуры исследованы существующие технологии проектирования технической и повседневной одежды:

- 1) технология получения цельноформованных деталей одежды с использованием полимерных композиционных материалов;
- 2) биотехнологии проектирования одежды;
- 3) технология аэрозольного напыления связующих волокон.

*1) Технология получения цельноформованных деталей одежды с использованием полимерных композиционных материалов*

Коконообразный способ формообразования оболочковой структуры с использованием полимерных композиционных материалов встречается в технологии изготовления цельноформованной обуви из резины, производство которой заключается в следующем [85]:

– метод штамповки состоит в том, что колодку с прикрепленной подкладкой, изготовленную с помощью трехмерного бесшовного вязания специальным кругловязальным станком из текстильных материалов, помещают в состоящую из двух полуматриц пресс-форму, в которой находится резиновая смесь в жидком состоянии. Штамповка обуви происходит путем соединения колодки и внутреннего пространства полуматриц. Затем полученное изделие вулканизируют, т.е. подвергают термической обработке, с помощью которой резина остывает и затвердевает. Обувь, изготовленная методом штамповки, имеет достаточную жесткость и массу, а также след от стыка полуматриц в носочной и пяточной части. Данная технология применяется по большей части в изготовлении обуви из резины, такой как калоши;

– метод формования (Рис. П.2.15) отличается от метода штамповки тем, что процесс формования резиновой облицовки совмещен с процессом вулканизации в пресс-форме. Полиэстеровую подкладку сапога, изготовленную с помощью трехмерного бесшовного вязания специальным кругловязальным станком определенного размера, надевают на колодку, которая создает пространство для ноги внутри сапога. Затем колодка с подкладкой накрывается прессом, в который под давлением впрыскивается расплавленная резина. После остывания с колодок снимается обувь, готовая к эксплуатации. Технология используется для изготовления цельнорезиновой и резинотекстильной обуви.

Современные технологии изготовления цельноформованной одежды с использованием полимерных композиционных материалов основаны на технологии, встречающейся в промышленности XX века.

Примерами изготовления цельноформованных изделий из коллагенсодержащего материала является способ трехмерного проектирования головного убора [54] (Патент РФ 2426486 «Способ изготовления

цельноформованных изделий из коллагенсодержащего материала») авторов Огородниковой Е. В., Лопасовой Л. В. и др. и способ изготовления герметичной одежды (Патент СССР 542656 «Способ изготовления цельноформованных изделий») автора Савельева А. И. [51].

Латекс сегодня используется для изготовления метеорологических, радиозондовых и шаропилотных оболочек, легкой резиновой и спортивной обуви, медицинских изделий и т. д. Одним из важных изобретений на основе латекса являются бесшовные медицинские перчатки, созданные в 1964 году компанией Ansell. Технология изготовления перчаток похожа на технологию изготовления трехмерной обуви из резины и заключается в следующем: на форму наносится специальный раствор из соли, который опускается в жидкий латекс; под воздействием химического процесса, каучуковые частицы оседают на форму в виде тонкого слоя; после химического процесса вулканизации, применяющегося для защиты натуральной резины от разрушения и сушки, с заготовки снимается готовое трехмерное изделие (Рис. П.2.16).

Рассмотренные методы формообразования актуальны в основном для производства таких элементов костюма, как обувь, перчатки, головные уборы [43, 54].

Главной особенностью технологии изготовления одежды подобными методами является то, что получаемая на выходе трехмерная цельная форма изделия готова к эксплуатации. Несмотря на то, что такие изделия, прежде всего из-за свойств материала, относятся в большей степени к специальной одежде определенного назначения, а не для повседневной носки, сам процесс производства, который выпускает трехмерный продукт, является большим эволюционным скачком проектирования одежды массового производства. Процесс проектирования имеет ряд преимуществ перед конструктивным проектированием одежды, как, например, увеличение количества изготавливаемой продукции за короткий промежуток времени, а также низкая себестоимость изделия при фабричном производстве [38]. Отсутствие швов в таких изделиях обеспечивает надежную защиту человека от химического

воздействия при работе в промышленной сфере, а также безопасность персонала и пациентов от инфекционных веществ в медицинской сфере.

Существенным недостатком изготовления цельноформованных деталей одежды с использованием полимерных композиционных материалов является необходимость изготовления для каждого образца изделия отдельных шаблонных форм, что, соответственно, значительно уменьшает вариативность дизайна при таком производстве.

## *2) Биотехнологии проектирования одежды*

Взаимопроникновение биологических наук в модную индустрию формирует биотехнологии трехмерного проектирования одежды. Экспериментируя с естественными природными образованиями, дизайнеры и художники создают как концептуальные, так и более практичные изделия одежды [6].

К примеру, израильская художница Сигалит Ландау, взяв за основу принцип кристаллизации соли, погрузила платье в Мертвое море на два года [138]. Платье постепенно покрывалось соляными кристаллами, после его извлечения слой соли составлял несколько сантиметров (Рис. П. 2.17). Получившееся платье приобрело рыхлую зернистую фактуру белого цвета, словно окутанное снегом. Жесткость и большой вес конструкции платья не позволяет отнести метод кристаллообразования на каркасе к практичному использованию в технологии изготовления одежды. Однако сам принцип естественного образования биоматериала на заданном каркасе является перспективным направлением в проектировании одежды, что подтверждается рядом примеров.

Одним из таких примеров является проект *Exercises in Rootsystem Domestication* автора Дианы Шерер (Diana Scherer), которая использует специальную технологию выращивания корней растений для формообразования плоских и трехмерных изделий (Рис. П. 2.18). На специально разработанном автором узорчато-перфорированном каркасе с питательными веществами сажаются растения по определенной траектории, корневая система которых в поисках питательных веществ, огибая конструкцию каркаса, образует различные геометрические или криволинейные паттерны. Переплетаясь между собой, корни

обволакивают каркас, образуя трехмерную форму, после чего изделие извлекается. Однако, после высыхания корней, изделия становятся достаточно хрупкими и непригодными для ношения [129].

Иной технологией, основанной на биоинженерии, является формообразование одежды на основе выращивания материала из бактерий. Автором данного метода проектирования одежды является лондонский дизайнер Сьюзан Ли (Suzanne Lee). Материал выращивается в течение нескольких недель в виде пленки за счет плетения целлюлозы в процессе брожения жидкости благодаря симбиозу бактерий, дрожжей и различных микроорганизмов. В итоге образуется пленка бактериальной целлюлозы толщиной в 2,5 см, которая формирует изделия путем ее наложения на манекен. В процессе испарения влаги нано-волокна целлюлозы соединяются, самостоятельно формируя материал (Рис. П.2.19) [126].

### *3) Технология аэрозольного напыления связующих волокон*

Представителем такого метода проектирования одежды является технология Spray on, запатентованная Маниэлем Торресом (Manel Torres) в 2001 году. Суть данного метода заключается в распылении баллончиком на сформированную основу или на тело человека специальной жидкости, в составе которой присутствуют растворитель, полимеры и хлопчатобумажные волокна. При нанесении состава на поверхность растворитель испаряется и формируется слой хлопкового материала, текстура, толщина и оттенки которого зависят от фрагментарности состава компонентов жидкости. Таким образом изготавливается бесшовная одежда, которая легко сдерживает воздействие влаги и становится весьма прочной, что дает возможность ее многократного ношения (Рис. П. 2.20). Одежда аэрозольного типа в будущем может легко утилизироваться методом растворения и переработки в связующую субстанцию для дальнейшего использования [107].

Более усовершенствованным инструментом проектирования на основе принципа аэрозольного напыления на заданную оболочку является оборудование Electroloom Developer Kit фирмы Electroloom (Рис. П.2.21). Вдохновившись

технологией аддитивного производства, осуществляемой 3D-принтерами, разработчики создали устройство, которое сводит традиционный процесс производства одежды в один этап путем прямого преобразования сырья в готовую продукцию. В отличие от предыдущего примера данная технология является автоматизированной. Процесс проектирования и изготовления бесшовной одежды с использованием данного оборудования состоит в следующем:

а) в системе САПР разрабатывается плоский шаблон произвольной формы, максимальный размер которого может достигать 800x900 мм;

б) с помощью технологии лазерной резки по заданной в САПР траектории вырезается форма из листового пластика или металла. Таким образом изготавливается пресс-форма, которая вставляется в отсек, находящийся внутри камеры оборудования;

в) в машину, в специальное отделение помещается капсула с жидкостью из смеси полиэстера, хлопка и растворителя;

г) специальное устройство преобразует жидкий раствор в твердые волокна и выпрыскивает их в камеру с нескольких сторон через форсунки под напряжением;

д) волокна в твердом виде направляются на пресс-форму непрерывным процессом по спиралеобразной траектории, задаваемой специальным электрическим полем в камере. Это позволяет волокнам оседать на пресс-форму, образуя равномерную толщину слоя, что не получилось бы при точечно-струйном напылении. Волокна напыляются до тех пор, пока не сформируется плотный слой, сохраняющий свою форму после снятия изделия;

е) после завершения процесса напыления волокон пресс-форма извлекается из оборудования и с него снимается получившееся трехмерное изделие. Форма одежды получается глухой, поэтому на ней производятся конструктивные вырезы для возможности крепления на фигуру человека.

Получаемый материал после извлечения обладает высоким уровнем гибкости и легкости, что позволяет закладывать в изделие складки и драпировки [136].

Недостатком такой технологии является выполнение ограниченной вариативности формы костюма. Плоский каркас, на который напыляется

вещество, должен иметь такую форму, которая позволяла бы снимать с него одежду без деформации материала в виде разрывов и растяжений.

### **Контурообразный способ формообразования**

Следующим приемом изготовления бесшовной одежды по принципу наложения материала является *контурообразный способ формообразования, который заключается в создании объемного объекта в виде оболочки с пустотами внутри путем наложения материала слоями по поперечному контуру задаваемой формы (Рисунок 5).*

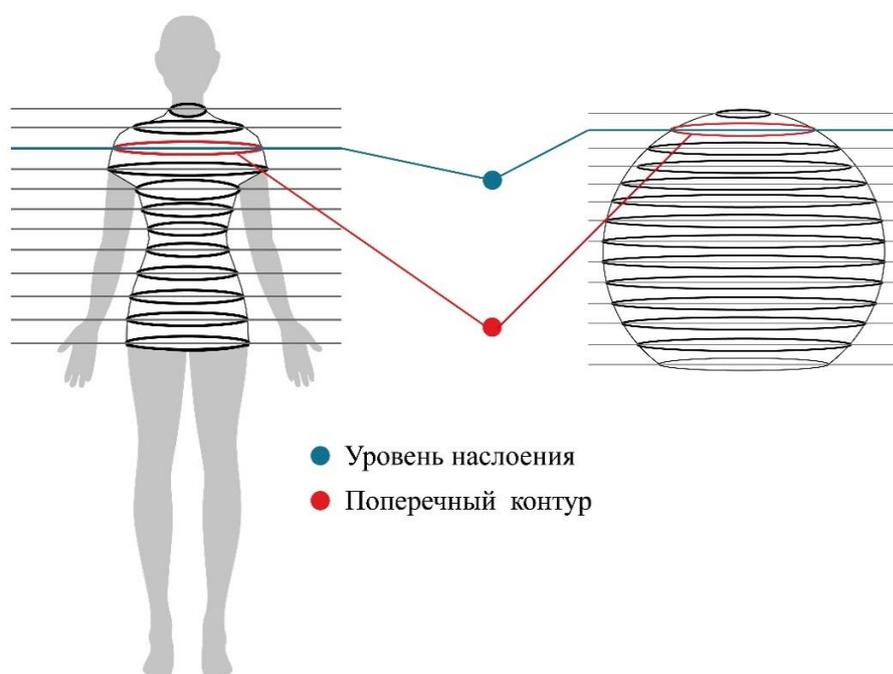


Рисунок 5. Контурообразный способ формообразования одежды

Контурообразное формообразование трехмерного изделия происходит по окружности слоями. С каждым последующим уровнем диаметр окружности увеличивается или уменьшается, образуя сферообразную оболочку с отверстием.

Самой распространенной в промышленной сфере технологией изготовления одежды контурообразным способом является трехмерное вязание, рассмотренное в первой главе как производный метод от способов ручного плетения. Исследование современных технологий изготовления бесшовного костюма XXI века показало, что, наряду с данной технологией к контурообразному способу

изготовления современного костюма можно отнести технологию модульного формообразования одежды из гибких материалов и аддитивные технологии.

*1) Технология модульного формообразования одежды*

К проектированию одежды без применения автоматизированных машин по принципу контурообразного способа формообразования можно отнести модульный метод проектирования, который представляет собой процесс создания изделий на основе каким-либо образом упорядоченных составных частей (узлов, агрегатов, секций) или блоков [5, 8].

В контексте контурообразного способа формообразования технологии модульного метода проектирования рассматриваются как процесс повторения в организации пространственной системы, при котором происходит равномерная и плотная организация модулей на плоскости, по контуру [4, 5]. То есть, форма образуется путем набирания элементов, имеющих определенный принцип наложения друг на друга слоев, выраженных в данном случае системой модулей.

Примером использования технологии модульного проектирования оболочковой структуры в дизайнерской практике является коллекция одежды Object 12-1 дизайнера Матия Коп (Matija Cop). Костюмы, созданные по мотивам городской архитектуры, выполнены из соединенных между собой гибких пластиковых модулей. Модули имеют плоскую прямоугольную форму с системами прямых внешних срезов и внутренних прорезей, за счет чего происходит их соединение между собой (Рис. П.2.22).

Следующим примером использования технологии модульного формообразования бесшовной оболочковой структуры костюма, при котором модуль является самостоятельным элементом, являются изделия из экспериментальных коллекций голландских дизайнеров Фион ван Балгои (Fioen van Balgooi) и Бербер Соупбор (Berber Soerboer). Костюмы изготавливаются по принципу технологии пэчворка, которая заключается в соединении различных кусков ткани по принципу мозаики, но без сшивания [71] (Рис. П.2.23). Одежда состоит из съемных фрагментированных деталей, которые представляют собой

геометрическую фигуру «квадрат» с прорезями в нескольких местах. Фиксация происходит путем вдевания части одного элемента в отверстие другого, а устойчивость данного соединения обеспечивают боковые надрезы вдеваемого элемента. Дизайнеры предлагают потребителю для создания одежды фрагменты различных цветов для выкладывания и закрепления индивидуального узора по принципу мозаики. Использование войлока в качестве основного материала для создания подобной одежды позволяет одежде не деформироваться при многократном варьировании модулей [123].

Уникальность костюмов по технологии модульного формообразования из гибких материалов заключается в том, что детали скрепляются между собой таким образом, что можно заменить любую деталь вручную по методу конструктора без применения швейных технологий. С точки зрения экологического аспекта, данный способ изготовления одежды достаточно целесообразен, так как отходы текстильного производства сведены к минимуму [7].

Следующей технологией контурообразного способа формообразования бесшовной структуры костюма является аддитивная технология, которая отличается от модульного формообразования автоматизированным процессом изготовления изделий.

## *2) Аддитивные технологии формообразования одежды*

Аддитивные технологии или 3D-печать представляет собой построение по созданной виртуальной объемной модели реального физического объекта путем наслаивания частиц материала термическим, диффузионным или клеевым способом [27, 94].

Основоположником технологии 3D-печати является Чак Халл. В поиске метода ускоренного и малозатратного прототипирования объектов промышленного дизайна в 1983 году изобретатель создал первый прототип электролитного 3D-принтера. В качестве материала для создания формы Чак Халл использовал эпоксидную смолу, которая может переходить из жидкого состояния

в твердое под действием ультрафиолетовых лучей. 3D-принтер формировал трехмерные объекты путем придания ультрафиолетом определенной формы нескольким сотням наложенных друг на друга слоев фотополимерного вещества (эпоксидная смола) по запрограммированной траектории.

Данная технология изначально применялась в изготовлении различных прототипов объектов промышленного дизайна для оценки функциональности, свойств, а также других характеристик перед запуском в массовое производство, позволяя исправлять недочеты при разработке различных изделий до начала их производства [122]. Интерес и спрос дизайнеров к данной технологии, которые рассматривают аддитивное производство в аспекте создания конечного продукта, позволил развить индустрию трехмерной печати [17, 79], расширив границы ее возможностей с точки зрения технологических процессов, используемых материалов (пластик, стекло, глина, воск и т. д.) и сфер применения объектов дизайна: архитектура, мебель, предметы интерьера [64, 48], а также костюм и его элементы [2].

Исследование практического опыта дизайнеров показало, что основными технологиями аддитивного производства одежды являются: метод послойного наплавления (FDM), лазерное выборочное сплавление (SLS), лазерная стереолитография (SLA) и струйное моделирование PolyJet. Рассмотрим эти методы с точки зрения процесса формирования и возможностей дизайна объемной формы одежды.

*Метод послойного наплавления* (FDM – Fused Deposition Modeling) заключается в послойном образовании формы из расплавленной пластиковой нити [117]. 3D-объект в определенном формате передается в программное обеспечение 3D-принтера, которая располагает модель в виртуальном пространстве рабочей камеры. При сложной геометрической форме объекта с нависающими элементами программа автоматически генерирует элементы вспомогательных конструкций, рассчитывает время печати и количество затрачиваемого материала [74]. В качестве filamentного материала

используются термопласты – нейлон, поликарбонат, полиэтилен, PLA, ABS, PET, TPU [31].

Ярким примером использования данной технологии в изготовлении одежды является серия платьев, созданных мультидисциплинарным дизайнером Френсисом Битонти (Francis Bitonti) (Рис. П.2.24). Первое платье изготовлено из 59 отдельно напечатанных частей: 20 более жестких, похожих на скелет секций выполнены из негибкого пластика PLA; 39 более динамичных частей, которые облегают фигуру и не препятствуют движению тела, напечатаны из гибкого материала Flex. Части склеены с помощью двухкомпонентной эпоксидной смолы. На распечатывание всех частей платья ушло 400 часов, а на сборку – 24 часа. Гибкие части зафиксированы по бокам кожаными ремнями, а верхняя жесткая часть застегнута на пластиковую кнопку.

Второе изделие, состоящее из объемной юбки и ветвистого абстрактного топа, состоит также из множества частей, выполненных твердым и гибким пластиком и склеенных друг с другом. Виртуальные модели одежды, расположенные на интернет-платформе, доступны для скачивания и печати пользователями в домашних условиях. В инструкции к изготовлению изделий дизайнер сообщает, что в зависимости от рабочей области принтера может потребоваться разбить файл перед печатью и сборкой на более мелкие части. Трехмерные части смоделированы без нависающих участков, поэтому файлы могут печататься без специальных поддерживающих конструкций [112].

Другой ряд практических примеров использования технологии FDM печати в костюме основывается на дизайнерском поиске изготовления пластичного материала. Работая с гибким материалом FilaFlex, дизайнер одежды Данит Пелег (Danit Peleg) в 2015 году смоделировала в рамках коллекции «Liberty leading the people» в программе Blender куртку, основанную на треугольной фрактальной структуре (Рис. П. 2.25). Разделив изделие на плоские участки, автор напечатала их на персональных принтерах с небольшой рабочей поверхностью (200 x 200 мм), а затем склеила их между собой, создав криволинейную форму изделия. В

поиске способа изготовления более пластичного материала, Данит Пелег, взяв за основу мезоструктурированные сотовые материалы Андреаса Бастиана, разработала различные структуры ячеистых полотен. На основе таких полотен, в трехмерном редакторе разрабатывались формы одежды и печатались по частям, которые затем склеивались, образуя трехмерные пластичные кружевные формы [127].

Дизайнер Милинич-Богданович (Milinić-Bogdanović) в 2018 году создал коллекцию одежды, состоящую из пластичных накидок, платьев и топов, с использованием гибкого материала ТПУ NinjaFlex и персонального принтера с печатающей областью всего 100 x 100 x 100 мм. Одежда формировалась за счет модульного соединения множества напечатанных перфорированных плоских тонких пластин. За счет использования в структуре пластин фрактальной перфорации, напоминающей жилистую структуру листьев, соединенные пластины кажутся единым целым (Рис. П. 2.26). Данная технология позволяет добиться в напечатанном материале эффекта пластичности при низкой плотности материала, что является революционным аспектом в развитии технологий трехмерной печати одежды [144].

Более адаптируемое к носке и фигуре человека изделие принадлежит американскому дизайнеру Марии Александры Мора-Санчес в соавторстве с компанией Cosine Additive. Напечатанное на 3D-принтере по частям платье Loom выполнено из соединенных между собой гибких треугольников (Рис. П.2.27). Платье в точности повторяет криволинейные линии фигуры человека, приспособляясь к движениям тела и адаптируясь к особенностям носки. Данный эффект был достигнут за счет трехмерного сканирования фигуры модели. Виртуальная фигура послужила основой для создания ячеистой поверхности платья, которую под размеры рабочей области принтера разделили на отдельные плоские фрагменты. Данные фрагменты печатались отдельно и затем соединялись друг с другом клеевым способом, не нарушая общую криволинейную форму изделия [118].

*Технология селективного лазерного спекания (SLS – Selective Laser Sintering)* заключается в формировании физического объекта путем послойного спекания порошковых нейлоновых термопластов с помощью одного или нескольких лучей лазера.

Рассмотрим практические примеры изготовления одежды по технологии SLS-печати.

Студия дизайна Nervous System в 2016 году представила в Музее изящных искусств в Бостоне пластичное модульное платье с фактурой, напоминающее чешую (Рис. П.2.28). Взаимосвязанные элементы платья сделаны из миниатюрных, наложенных друг на друга, треугольных деталей, выстроенных в виде мозаики, благодаря чему, несмотря на жесткость отдельной детали, вместе они образуют гибкое полотно. Для его создания использовалась специальная кинематическая технология формирования в 3D-принтере единой сложной детали. Виртуальная модель платья была разделена на три секции, которые печатались по отдельности и собирались с помощью систем фиксации, находящиеся на каждом модуле. Платье состоит из 1600 частей, соединенных между собой с помощью более чем 2600 петель и имеющих возможность перестраиваться. С помощью такой конструкции платье может трансформироваться в топ или юбку [134].

В поиске способов изготовления одежды с пластичными свойствами по технологии трехмерной печати SLS дизайнеры экспериментируют с различными структурными формами, используя мягкие материалы. Таким примером служит серия изделий, изготовленная в 2017 году Минджинг Лин (Mingjing Lin) и Цай-Чун Хуан (Tsai-Chun Huang) в рамках проекта «Fold the Inter-fashionality» для китайской оперы (Рис. П.2.29). Объединившие традиционное восточное искусство, дизайнеры разработали несколько форм элементов одежды, которые, благодаря использованию технологии SLS, печатались целиком, а не по частям [139]. Сам по себе напечатанный материал из FilaFlex имеет довольно низкий уровень пластичности, но применение различных перфораций, складчатостей и

нитеобразной структуры увеличивает пластичность изделия. К примеру, разработанный китайскими дизайнерами длинный браслет, состоящий из геометрических модулей, может растягиваться за счет линейной зигзагообразной подложки. Другая форма элемента одежды имеет вид сложенной объемно-пространственной формы в виде оригами, которая задавалась при трехмерном моделировании. Пластичность напечатанного воротника достигается за счет использования специальной структуры, которая состоит из перпендикулярно переплетенных нитеобразных элементов.

Технология *стереолитография SLA* (сокр. от Stereolithography) заключается в изготовлении трехмерных объектов путем отвердевания жидкой фотополимерной смолы «за счет облучения ультрафиолетовым лазером или другим схожим источником энергии» [88, 120].

Технологии 3D-печати позволяют выполнять сложные формы и фактуры костюма, которые были бы невозможны при использовании традиционных технологий изготовления изделий. К примеру, модельер Ирис ван Харпен (Iris Van Herpen) в сотрудничестве с архитектором Никколо Касас (Рис. П.2.30), выпускает напечатанные коллекции одежды в четкой взаимосвязи с зооморфными и биометрическими тенденциями в футуристической архитектуре, где структурные формы переносятся в искусственную окружающую среду из органических моделей флоры и фауны. Примером такого концептуального синтеза является полупрозрачное платье с многочисленными шипами, изготовленное в 2015 году в рамках коллекции *Hacking Infinity* [114]. Шипы, являющиеся частью основы, реагируют на движение человека, меняя градус наклона, и тем самым, добавляют изделию динамическую природную образность. Платье, как и другие примеры печатной одежды, формировалось в виртуальном пространстве на основе трехмерного сканирования фигуры модели, затем, разделенное на части, выводилось на печать, после чего секции склеивались между собой.

Еще одной технологией, которую используют дизайнеры в изготовлении одежды, является MJ (PolyJet). Она основана на послойном отверждении жидкого фотополимерного материала под воздействием ультрафиолетового излучения. Модель, выращенная по технологии PolyJet, имеет гладкую и прочную поверхность и не нуждается в дополнительной постобработке.

Примером использования данной технологии являются платья Pangolin и Harmonograph, созданные в рамках коллекции Biomimicry в 2016 году лейблом threeASFOUR, архитектором Тревисом Фитчем и производящей 3D-принтеры израильской компанией Stratasys. Фактура одежды оптически напоминает эффект получаемых линий гармонографом (Рис. П.2.31). Каждая секция платья в форме спирали печаталась отдельно. В виртуальную форму секций сразу заложена структура, состоящая из модулей, скрепленных между собой таким образом, что после печати секций каждый модуль может отдельно двигаться и отсоединяться от другой детали. Используемый для формирования одежды эластомерный материал придает изделиям дополнительную гибкость.

Исследование применения аддитивных технологий в изготовлении одежды позволило выделить два основных направления дизайна печатного костюма:

- 1) создание жесткой оболочки костюма, которая печатается целиком или состоит из нескольких напечатанных по отдельности секций, склеивающихся между собой;
- 2) создание гибкой оболочки костюма из модулей, которые на стадии цифрового моделирования соединены между собой кинетическим способом и после печати образуют мягкую и подвижную структуру материала.

Исследование аддитивных технологий формообразования одежды позволило выделить некоторые преимущественные аспекты перед традиционным способом конструирования одежды, основанном на выкраивании и соединении деталей с помощью швов:

- Экологичность. При производстве одежды с использованием аддитивных технологий отсутствуют какие-либо отходы. Для изготовления

изделия в ключе FDM-печати берется такое количество материала, которое необходимо для конечного результата. В ключе SLS-, SLA- и MJ-печати оставшийся полимер используется повторно. Изделия, отслужившие или потерявшие актуальность, могут быть расщеплены на мелкие частицы, расплавлены, сформированы в порошок или нитеобразный филамент с использованием специального оборудования (3DFilaprint, Filabot Original, STRUdittle и т. д.) и повторно использованы.

- Кастомизация и демократизация дизайна. Развитие и удешевление бытовых 3D-принтеров, увеличение вариаций используемого материала может привести к распространению изготовления одежды в домашних условиях по следующему сценарию: дизайнер разрабатывает трехмерную модель одежды и располагает ее на специальной интернет-платформе; потребитель выгружает с платформы файл себе на компьютер, подгоняет размеры изделия в специальной программе под параметры своей фигуры и печатает на домашнем устройстве. На сегодняшний день такая практика распространена и набирает обороты с изготовлением объектов дизайна малых форм: элементы интерьера, посуда, модные аксессуары и т. д.

Таким образом, исследование технологий формообразования бесшовных структур костюма XXI века показало, что образование формы одежды происходит:

- на основе наложения, фиксации и трансформации пластичного материала на фигуре человека, перспективами развития которого могут являться развитие технологий в решении таких задач, как задавание автоматизированных складчатых деформаций трубчатых и криволинейных основ;

- когда материал задается одновременно с формой одежды. Перспективами развития данного направления является решение таких задач, как улучшение эксплуатационных свойств материала с использованием различных инновационных технологий, таких как биотехнологии проектирования одежды, аддитивные технологии, а также упрощение выполнения пресс-форм для

изготовления высокой вариативности бесшовных форм костюма методом штамповки, формования и литья под давлением связующего материала.

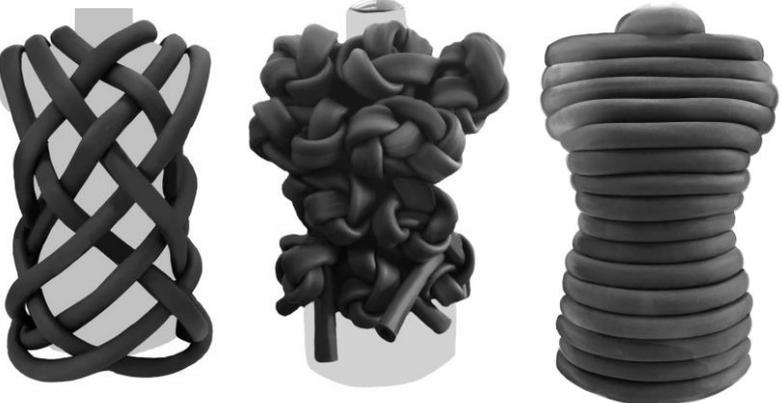
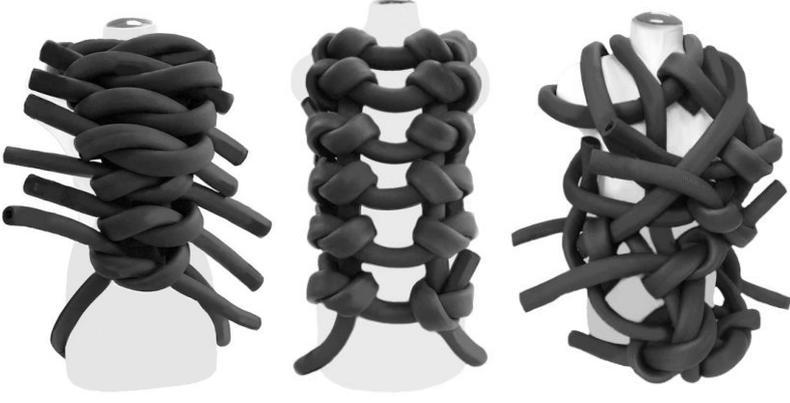
В результате исследования выявлены основные способы изготовления бесшовных форм костюма, которые могут выполняться ручным или автоматизированным способами:

- Из пластичных материалов плоской, трубчатой или иной формы бесшовная структура костюма выполняется путем деформации, наложения основы на фигуру человека, фиксации и трансформации;
- Из нитеобразных материалов бесшовная форма костюма задается путем переплетения, обвязывания или валяния, что определяется как процесс наложения, который может выполняться контурообразным или коконообразным способами;
- Из связующих материалов бесшовная форма костюма изготавливается путем наложения материала на заданную форму коконообразным способом;
- Из отдельных элементов модульным принципом наложения материала изготавливается бесшовная форма костюма контурообразным способом.

Исследование способов формообразования бесшовной структуры костюма по принципу наложения материала позволило выполнить практическую апробацию ряда костюмов из нетрадиционных материалов, изготовленных ручным способом студентами кафедры «Дизайн и искусство» ФГБОУ ВО «ПВГУС» по направлению подготовки 54.03.03 «Искусство костюма и текстиля» направленности (профиля) «Художественное проектирование костюма» (Таблица 6). Поиск форм осуществлялся методом импровизированного выполнения различных манипуляций с материалом по форме манекена или в пространстве.

Использование нетрадиционных материалов позволяет создавать нетривиальные решения форм костюма, развивая у студентов пространственное мышление, являющееся ключевым аспектом в освоении навыка трехмерного моделирования бесшовной одежды.

Ручные способы изготовления модели-шаблона бесшовных структур костюма по принципу наложения материала

Способ формообразования	Технология	Костюм
Коконообразный	Наложение связующего материала (акрил + клей), связующего нитеобразного материала (пластик), нитеобразного материала (шпагат) на заданную форму	
Коконообразный	Переплетение, связывание и наложение нитеобразного материала (трубчатый вспененный полиэтилен) по форме манекена	
Контуробразный	Связывание и переплетение нитеобразного материала (трубчатый вспененный полиэтилен) в пространстве, фиксация на манекене	

Экспериментирование с нетрадиционными материалами путем интуитивного поиска формы может являться первым этапом дизайн-проектирования костюма с использованием технологии 3D-печати, при котором структура будущего изделия определяется в виде модели-шаблона. Далее на основе модели-шаблона в системе автоматизированного проектирования (САПР) создается цифровая трехмерная форма. Такое реверсивное воспроизведение изделия может осуществляться двумя способами: 3D-моделирование по визуальным характеристикам модели-шаблона; 3D-сканирование модели-шаблона и его доработка в САПР. Технология 3D-сканирования сегодня доступна в виде бесконтактной фиксации объемных объектов на основе фотограмметрии смартфонами (iPhone X, Samsung Galaxy S20+, Honor View 20 и т. д.), с помощью дополнительного оборудования к смартфонам (Structure Sensor, 3D Systems iSense и т. д.), а также автономными трехмерными сканерами (Range Vision Premium, Volume Technologies MINI и т. д.) на основе оптического действия, позволяющего воспроизводить наибольшую точность и область сканирования. После сканирования программа экспортирует трехмерный объект в редактируемый формат (OBJ, STL и т. д.), который можно доработать в САПР. После создания цифровой трехмерной формы костюма следует ее подготовка и печать на 3D-принтере.

## ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 2

Системный анализ современных технологий и методов формообразования бесшовной одежды позволил выделить два направления создания бесшовных структур костюма. *Бесшовные структуры одежды формируются путем трансформации и деформации* пластичной основы, *наслоения нитеобразного, связующего материала или элементов.*

1. Формообразование бесшовной структуры костюма по принципу **трансформации** пластичной основы, под которым понимается тканый или нетканый материал, происходит путем наложения плоского или трубчатого модуля на фигуру человека обертывающим, накидным и опорным способами, а также его фиксации и трансформации за счет введения соединительных систем и прорезных структур. **Деформация** пластичной основы посредством растяжения, сжатия и выполнения изгибов придает форме костюма при ее трансформации дополнительный объем и жесткость. Такие виды деформации как растяжение и изгиб задают складчатую поверхность материала в виде равномерного рельефа или отдельных линейных граней, что позволяет формировать трехмерную структуру костюма по заданным векторным изгибам.

2. Исследование технологий формообразования бесшовной структуры костюма по принципу трансформации и деформации пластичного материала стало основанием для разработки четырех трансформируемых модулей одежды, форма которых основана на использовании простых геометрических фигур. Новизна и производственная применимость круглого трансформируемого модуля одежды подтверждена патентом на полезную модель «Трансформируемый круглый модуль одежды».

3. Формообразование бесшовной структуры костюма по принципу **наслоения** основывается на последовательном наложении связующего или нитеобразного материала, а также отдельных элементов, и по способу образования разделяется на коконообразный и контурообразный способы формообразования. *Коконообразный способ* формообразования заключается в

том, что трехмерная оболочка создается путем наложения какого-либо материала на криволинейную поверхность или каркас. *Контурообразный способ* формообразования заключается в создании трехмерного объекта в виде оболочки с пустотами внутри путем наложения материала слоями по поперечному контуру задаваемой формы. Результатом исследования способов формообразования по принципу наложения стала разработка ряда костюмов из нетрадиционных материалов.

4. Нетрадиционные материалы позволяют экспериментировать с бесшовными формами одежды и разрабатывать модели-шаблоны для 3D-печати. Путем трехмерного сканирования модели-шаблона или по ее визуальным характеристикам в САПР может создаваться цифровая трехмерная форма, которая впоследствии выводится на печать.

### ГЛАВА 3. ДИЗАЙН-ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОСТЮМА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ FDM-ПЕЧАТИ

Исследование технологий трехмерного моделирования позволило выявить особенности использования FDM-печати при дизайн-проектировании монолитной формы костюма, состоящее из следующих этапов: определение структуры костюма, трехмерное моделирование формы костюма, подготовка модели к печати, печать модели и постпечатная обработка.

#### 3.1. Классификация трехмерных структур печатной формы одежды

Исследование практического опыта дизайнеров проектирования и изготовления печатной одежды, а также личного опыта, позволили разработать классификацию структурных характеристик костюма: в аспекте использования аддитивных технологий при создании оболочки можно выделить *модульную, звеньевую и монолитную структуру костюма* (Рисунок 6).

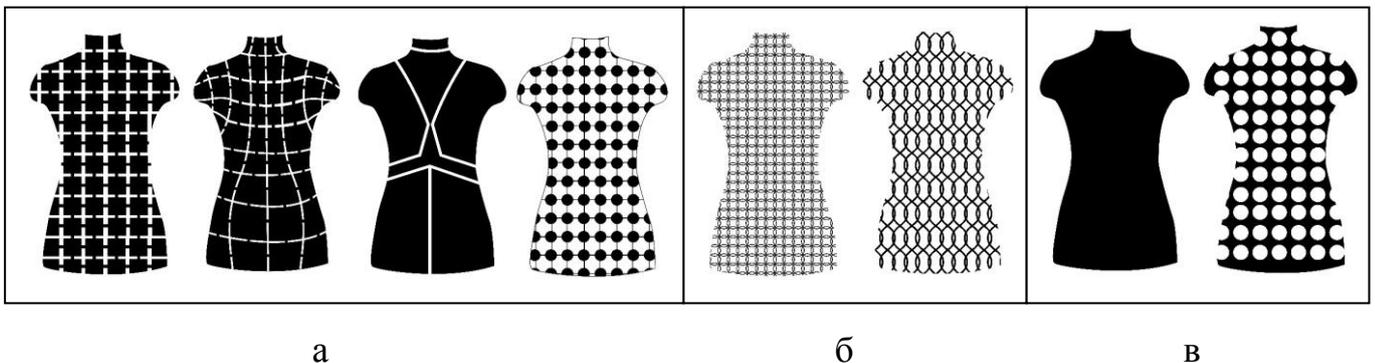


Рисунок 6. Структуры костюма в аспекте использования аддитивных технологий печати: (а) модульная структура костюма; (б) звеньевая структура костюма; (в) монолитная структура костюма

**Модульная структура костюма** представляет собой форму, состоящую из соединенных между собой самоподобных регулярных или разных по форме частей. Такие части могут иметь эллиптическую, геометрическую или

криволинейную организацию плоской или объемной формы [4]. Модульная структура костюма может также иметь форму, состоящую из фрактальных элементов. При этом форма костюма будет состоять из самоподобных частей – фракталов, обладающих нетривиальной структурой на всех масштабах и обладать дробной метрической размерностью, превосходящую топологическую. Форма может образовываться из таких фрактальных примитивов, как квадрат, треугольник, шестиугольник и т. д.

Степень пластичности костюма зависит от размера и формы модулей, а также от типа фиксаций. При использовании плоских элементов в виде, к примеру, кружевных полотен из пластичных материалов для печати, можно достичь проектные решения костюма, материал которых будет подобен тканям [26, 140, 141, 142]. Но на современном этапе развития FDM-технологий это возможно только при условии печати модулей по отдельности, из которых путем ручной сборки выполняется форма костюма.

Рассмотрим структурные характеристики модульного печатного костюма в условии его реализации с применением элементов, имеющих определенный объем. Использование деталей малого размера обеспечивает высокую пластичность костюма. Изделие может иметь эффект драпировки в малой степени, но не может иметь объемную форму, значительно отличающуюся от общего силуэта фигуры человека. Применение модулей большого размера обеспечит костюму низкую пластичность, отсутствие драпировок и складок, но позволит выполнять сложную геометрическую форму.

Специфика проектирования костюма на основе использования аддитивных технологий заключается в поиске способов выполнения пластичности материала или самого изделия, которая в модульной организации костюма достигается кинематическим типом соединения частей, закладываемых на этапе создания цифровой модели костюма.

Рассмотрим типы соединения частей в модульной структуре костюма. Соединения могут быть звеньевыми, шарнирными или с отдельными типами

фиксаций (при печати элементов по отдельности). Звеньевое соединение представляет собой комбинацию вставленных друг в друга кольцевых элементов. Шарнирное соединение обеспечивает вращательное движение частей по отношению друг к другу. Различают следующие типы шарнирных соединений: цилиндрические шарниры позволяют частям вращаться вокруг общей оси; карданные шарнирные цепи, состоящие из нескольких цилиндрических шарниров, соединенных последовательно с отдельными осями вращения, пересекающиеся в одной точке; универсальные шарниры, использующие жесткую крестовину, которая образует обе оси вращения [108].

Отдельными системами фиксации могут быть различные нитеобразные системы в виде ремней, дополнительных устройств и т. д. В этом случае форма изделия может состоять из модулей, которые соединяются непосредственно между собой или могут соединяться посредством введения отдельных элементов фиксации.

**Звеньевая структура костюма** представляет собой форму, состоящую из соединённых друг с другом кольцеобразных модулей или переплетений нитеобразных элементов. Структура костюма с кольцеобразными элементами малой формы может иметь высокую пластичность и эффект драпировки. При задавании большого пространства между кольцеобразными элементами костюм не может иметь объемно-геометрическую форму, сильно отличающуюся от формы фигуры человека, поскольку изделие будет провисать. Изделие, состоящее из переплетенных между собой нитеобразных элементов, позволит достичь высокую пластичность костюма и эффект драпировки, а также закладывание складок. Материал может иметь достаточно плотную структуру для выполнения сложных геометрических форм.

Если в аспекте традиционных способов формообразования костюма звеньевая и модульная структура костюма выполнялась с помощью соединения отдельно взятых модулей, то в ключе аддитивных технологий такая структура

может выполняться единым процессом печати с поддерживающими конструкциями.

Модульная и звеньевая структура костюма может достигаться путем изготовления объемной формы костюма, в которой заданная криволинейная поверхность учитывает форму фигуры человека, а может достигаться путем изготовления плоской формы-развертки и ее фиксации на фигуре способом трансформации.

Благодаря шарнирным и звеньевым соединительным системам, а также структурным переплетениям, материал выполняется со свойствами, подобным тканям, что позволяет сложить цифровую модель одежды в вычислительном отношении с меньшей конфигурацией для эффективной 3D-печати.

В отличие от модульной и звеньевой, **монолитная структура костюма** представляет собой форму в виде единой оболочки, в которой отсутствуют соединительные элементы, звенья или модули. Рассмотрим возможные структурные характеристики костюма на основе монолитной структуры в аспекте применения аддитивной технологии печати FDM.

*В основе монолитной структуры костюма может лежать оболочковая форма закрытого, полуоткрытого или открытого типа с прорезной или цельной организацией поверхности* (Рис. П.3.1). Закрытая монолитная форма одежды характеризуется отсутствием на уровне поверхности отверстий, формообразующие части которой замыкаются между собой, но включает отверстия, фиксирующие изделие на фигуре человека. Полуоткрытая монолитная форма изделия представляет собой сочетание плоскостных монументальных поверхностей и пустых отверстий. Открытая монолитная форма, имеющая каркасное строение, состоит из исключительно линейно-пластических элементов. Прорезная структура, в отличие от цельной, имеет вертикальное или наклонное сечение плоскости формы.

Монолитная форма печатной одежды может иметь жесткую или растягивающуюся структуру в зависимости от типа материала, а также от вида

гармонизации поверхности формы. Жесткая структура обычно бывает у оболочек монолитной структуры костюма с цельным типом организации поверхности, имеющих обтекаемую форму с гладкой или рельефной поверхностью с малым значением разницы изменения высоты между выпуклостями и вогнутостями. Еще одним случаем, когда при задавании рельефа на поверхности оболочки будет отсутствовать растяжение, является формирование в цифровой модели обтекаемой внутренней стенки и рельефной внешней.

Использование гибкого материала в замкнутых оболочках костюма с малым уровнем рельефности или обтекаемой поверхностью не обеспечит достаточный уровень пластичности формы в рамках технологии FDM. Причиной тому – то, что для формирования костюма требуется задавать достаточно толстые стенки поверхности для устойчивости модели во время печати. В обратном случае будет деформация оболочки. Поэтому необходимо задавать костюму криволинейные формы, схожие с параметрами фигуры человека для ее фиксации на плечах или талии. Для возможности эксплуатации изделия, которое не сковывает движения человека, необходимо задавать определенное пространство между формой костюма и поверхностью фигуры.

Определенная степень растяжения появляется при использовании гибкого материала в перфорированных и рельефных оболочках монолитной структуры костюма. При этом рельеф оболочки должен быть с высоким значением разницы между вогнутыми и выпуклыми поверхностями.

В результате исследования выделены перфорированные и рельефные оболочки монолитной структуры костюма.

*Перфорированная оболочка монолитной структуры костюма* имеет сквозные отверстия различного типа – однородные или неоднородные. Перфорированная структура может иметь плоскую или объемную ячеистую поверхность, при которой изделие растягивается путем деформации перфораций – их вытягивания, разрушая изначально заданную форму отверстий.

*Рельефная оболочка монолитной структуры костюма* представляет собой форму, которая имеет неровную поверхность, сложенную из положительных и отрицательных форм. Такие оболочки могут иметь прямолинейные или криволинейные типы рельефов, образуя ребристую, волнообразную или складчатую поверхность. При рельефной структуре форма костюма растягивается путем выпрямления поверхности.

Рассмотрим два способа построения рельефной и перфорированной объемной формы с неоднородной структурой на основе диаграммы Вороного и системы Делоне.

Структура на основе диаграммы Вороного представляет собой ячеистую поверхность, состоящую из множества выпуклых неравномерных многоугольников. Это множество соединенных многоугольников, полученных из точек или локаций. Каждая линия «области» Вороного находится посередине между двумя точками.

Структура на основе диаграммы Делоне противоположна диаграмме Вороного. Эта диаграмма состоит из треугольников, каждая линия которой перпендикулярна пересекаемому ею ребру в диаграмме Вороного.

Сочетание перфорированных и рельефных структурных элементов на поверхности оболочки может обеспечить высоким уровнем растяжения монолитной формы костюма. Такая комбинация может иметь гироидную структуру. Гироид является непрерывной, бесконечно повторяющейся в трех измерениях структурой, без самопересечений с минимальной поверхностью. Такая структура имеет «строгое математическое уравнение, с помощью которого можно варьировать параметры периодичности, а, следовательно, и свойства получаемых материалов:  $\cos(x) \cdot \sin(y) + \cos(y) \cdot \sin(z) + \cos(z) \cdot \sin(x) = t$ » [22, С. 1014]. Объекты с гироидной структурой сочетают низкую массу и высокие удельные механические характеристики.

Итак, монолитная структура костюма может быть различной формы закрытого, полуоткрытого или открытого типа с обтекаемой, рельефной или

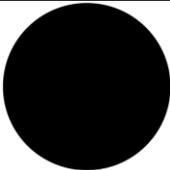
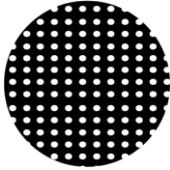
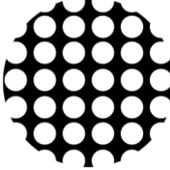
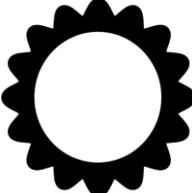
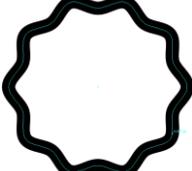
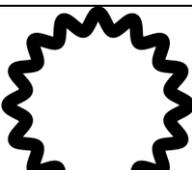
перфорированной структурой. При проектировании оболочки костюма необходимо заранее учитывать современные возможности материалов для аддитивной технологии, в частности, FDM. При изготовлении костюма с использованием таких пластиков как ABS, SBS или PLA, форма будет иметь жесткую структуру. Гибкие материалы типа FLEX обеспечат гибкость, но на ограниченном уровне. Уровень пластичности изделия при монолитной организации формы минимальный и зависит от количества заложенных в форму прорезных или перфорированных систем, а также уровня закладываемой рельефности поверхности оболочки.

На основе проведенного исследования выполнена схема классификационной модели трехмерных структур печатной формы одежды (Схема 3), а также таблица условий пластичности и растяжения монолитной структуры костюма с использованием пластика FLEX (Таблица 7).



Схема 3 – Классификационная модель трехмерных структур печатной формы одежды

Условия пластичности и растяжения монолитной структуры печатной формы костюма с использованием пластика FLEX

Монолитная структура печатной формы костюма	Схема	Степень пластичности	Степень растяжения
Обтекаемая закрытая оболочка		низкая	отсутствует
Перфорированная оболочка с низким значением отверстий		средняя	низкая
Перфорированная оболочка с высоким значением отверстий		высокая	средняя
Рельефная внешняя поверхность стенки оболочки с обтекаемой внутренней		низкая	отсутствует
Рельефная оболочка с малым значением разницы изменения высоты между выпуклостями и вогнутостями		средняя	средняя
Рельефная оболочка с высоким значением разницы изменения высоты между выпуклостями и вогнутостями		высокая	высокая

Выбор дизайнером той или иной печатной структуры будет зависеть, в первую очередь, от назначения одежды. Такие костюмы с использованием доступных на сегодняшний день материалов и технологий, конечно, будут иметь

минимальную степень «приспособленности» к человеку. Рассмотрим наиболее практичные варианты структур костюма с точки зрения эргономики. Изделие может выполняться из гибкого материала из серии TPU, который, в отличие от жестких пластиков, ощущается человеком как более мягкий. Достоинством данного материала также является определенная степень пластичности. При проектировании облегчающего силуэта костюма для возможности его надевания и свободного выполнения движений, необходимо задавать структуре изделия высокую степень растяжимости. Этого можно достичь выполнением рельефной оболочки одежды с высоким значением разницы внутренних и внешних форм или выполнением звеньевой структуры из нитеобразных элементов. Также важно учитывать воздухопроницаемость изделия, которое может достигаться за счет введения в монолитную структуру перфораций. При проектировании костюма с полуприлегающим или свободным силуэтом, следует брать за основу монолитные структуры с тонкой толщиной оболочки, закладывая в звеньевой и модульной структуре костюма высокую степень драпируемости.

После того, как определена структурная характеристика костюма, объемная форма выполняется в трехмерном редакторе. Способы 3D-моделирования рассмотрены в аспекте монолитной формы костюма.

### **3.2. 3D-моделирование монолитной формы костюма с использованием программного обеспечения Autodesk 3ds Max**

Для создания моделей используются САПР, включая такие 3D-редакторы, как Autodesk 3ds Max, Solid Works, Auto Cad, Blender, Light Wave и т. д. Способы моделирования объемной формы в данных программах достаточно вариативны и определение этапов создания объектов с различными свойствами геометрии может исчисляться до бесконечности. Но существуют отдельные критерии и уровни моделирования, в аспекте которых можно рассмотреть некоторые способы выполнения формы костюма.

Исследование основных функциональных возможностей 3D-редакторов и способов моделирования в аспекте создания формы костюма проводилось на основе программного обеспечения (ПО) Autodesk 3ds Max. Целью исследования являлось определение этапов формообразования костюма в аспекте использования технологии печати FDM.

Основными типами моделирования, реализующимися в большинстве 3D-программ, являются полигональное моделирование, сплайновое моделирование и NURBS-моделирование.

*Полигональное моделирование* представляет собой способ создания или редактирования объекта, состоящий из сетчатой поверхности. Модели могут иметь триангулированную или квадриангулированную сетку из плоских ячеек (полигонов). Реализация или трансформация формы происходит путем применения и изменения различных функциональных параметров на уровне подобъектов сетки объекта: вершины, грани, ребра и полигоны [33].

*Сплайновое моделирование* представляет собой построение объектов на основе трехмерных линий, кривизна которых задается ручным набором контрольных точек в пространстве, определяющих гладкость или геометрию сплайнов. Создание объемной модели с помощью сплайнов сводится к построению закрытого каркаса из линий, на основе которого «наращивается» огибающая трехмерная геометрическая поверхность путем применения отдельных функций ПО [16].

*NURBS-моделирование* применяется для создания объектов с гладкой поверхностью и, в отличие от полигонального и сплайнового моделирования, для создания трехмерной формы не требуется возведения закрытого каркаса. Объект создается на основе функции добавления поверхности на заданные кривые, которые могут быть по своему уровню замкнутости автономными. После возведения формы с помощью добавления вспомогательной огибающей сетки и направляющих, можно редактировать объект на уровне изменения его пластичности. В NURBS-моделировании существуют два вида управляющих кривых – P-кривые, задающиеся вершинами, лежащие непосредственно на самой

кривой и CV-кривые, форма которых задается управляющими вершинами, лежащих на вспомогательном линейном манипуляторе. Порядок NURBS-поверхности является производной от сплайновых оболочек с отличием несвязанности в полной мере с количеством вершин. Вследствие этого, предоставляется возможность строить поверхности невысокого порядка на большом числе вершин: поверхности второго порядка (эллипсоид, параболоид, гиперболоид, цилиндр и конус); поверхности третьего порядка (обтекаемые поверхности, состоящие из прямоугольника и, образующей кривизну поверхности линии) [15, 102].

Сплайновые и NURBS-объекты могут быть переведены в полигональный объект, преобразуя обтекаемую форму в группу плоских сегментов с вариативной плотностью заполнения, при котором задается верная топология, когда потоки линий сетки соответствуют пластике 3D-модели.

Стоит отметить, что данные типы моделирования в отдельных случаях могут иметь взаимозаменяемый характер. То есть, некоторые объемные формы без повышенной детализации могут создаваться любыми способами, так как по отдельности они имеют как различные, так и практически идентичные параметры функционала.

Экспериментально-практическое исследование полигонального, NURBS- и сплайнового типов моделирования позволило выявить следующие принципы создания форм: выполнение примитивной оболочки и ее изменение на полигональном уровне; выполнение булевых операций (вычитание, объединение или создание разницы) над двумя и более объектами. При вычитании, объединении или разницы объектов получаются оболочки, которые затем подвергаются конструктивным уточнениям. Отдельно следует отметить булеву операцию, при которой объект воспроизводится за счет объединения самоподобных форм-модулей. В этом случае особое внимание уделяется разработке самих модулей, а также их композиционной компоновке между собой. Таким образом, можно выделить два способа моделирования монолитной формы костюма: *оболочковый и модульный*.

Оболочковый способ 3D-моделирования костюма заключается в образовании объемного объекта определенной формы закрытого типа, который подвергается различным модификациям на уровне формы, ее отдельных частей или поверхности. Модульный способ 3D-моделирования монолитной формы костюма заключается в создании изделия из наложенных друг на друга или на оболочку объемных или плоских объектов.

Выявлены некоторые этапы создания монолитной формы костюма на основе оболочкового и модульного способов моделирования костюма (Схема 4).



Схема 4 - Этапы 3D-моделирования монолитной формы костюма оболочковым и модульным способом.

Рассмотрим подробнее выполнение этапов создания монолитной формы костюма **оболочковым способом моделирования**.

1) *Введение фигуры человека по заданным параметрам*

Моделирование костюма имеет специфическую направленность создания формы, которая всегда должна быть привязана к фигуре человека для визуализации их пропорционального соотношения и устранения пересечений геометрии.

Создание формы фигуры человека можно реализовать в 3D-редакторе или с помощью импортирования из отдельных специализированных программ. К примеру, программное обеспечение Make Human предназначено для создания 3D-моделей людей и имеет множество вариантов трансформаций по следующим настраиваемым параметрам: возраст, пол, рост, вес, пропорции тела, форма и черты лица, детали рук, ног и т. д. [132]. При создании формы костюма для конкретного человека используется технология 3D-сканирования, которая заключается в фиксировании специальными устройствами тела и его перенос в виртуальную среду. Одна из таких технологий состоит из следующего алгоритма действий: человек становится на специальный подиум, вокруг которого расположены зеркальные фотокамеры, производящие снимки с разных ракурсов; специалисты получают ряд данных, в процессе анализа и обработки которых просчитывается 3D-модель (ПО Artec Eva, Space Spider, Range Vision Spectrum и т. д.) [90]

2) *Создание оболочки-примитива*

Оболочка костюма может быть создана несколькими способами: на основе полигонального, сплайнового и NURBS моделирования или с помощью встроенных в ПО объемных примитивов.

В аспекте сплайнового моделирования такая оболочка может создаваться на основе выполнения объемного каркаса и наращивания на нее плоскостей, а также по профилю заданной кривой с помощью модификатора «Lathe», который производит итерацию нарисованного профиля. Необходимо отметить, что в этом случае оболочка костюма может создаваться только с одним сквозным

отверстием в соответствии с заданной осью координат. На рисунках П.3.2 и П.3.3 продемонстрировано применение данного функционала в ключе создания оболочки костюма. Готовый объект имеет радиальную симметрию, для его дальнейшего изменения можно использовать различные параметры деформации формы.

С помощью NURBS-моделирования возможен следующий вариант создания формы: введение нескольких параллельно расположенных между собой с определенным промежутком кривых, огибающих условную поверхность формы человека по оси Z или X; применение к ним функции добавления поверхности. Форма костюма будет иметь некаркасную обтекаемую структуру, но обладать вспомогательной сеткой с кривыми, с помощью которой может производиться дальнейшее изменение формы.

Создание оболочки-примитива на основе полигонального моделирования может заключаться в создании горизонтально расположенной плоской фигуры из вершин и точек и вытягивания его периметра вверх или вниз, осуществляя при этом поэтапное фиксирование последующих периметров, увеличивая, уменьшая или наклоняя в стороны стенки или изменяя градус последующих периметров.

Также создание оболочки-примитива возможно с использованием встроенных в ПО объемных форм. При создании формальной объемно-пространственной оболочки костюма в качестве основы могут использоваться куб, шар, цилиндр и т. д. При создании облегающей формы могут быть использованы такие примитивные геометрические объекты, которые по своей топологии наиболее схожи с фигурой человека: цилиндр с фаской Chamfer Cyl, капсула Capsule (Рис. П.3.4). На Рисунке П.3.4 показан пример создания оболочки костюма, который состоит из следующих этапов: создание цилиндра с фаской, применение параметра сужения формы по оси Y, а также трансформации отдельных участков объекта с помощью параметра модификации свободной формы FFD. Оболочка костюма будет иметь замкнутую форму с отсутствием каких-либо отверстий, которые можно выполнить на уровне полигонального моделирования.

При необходимости создания облегающей формы костюма нужно использовать в качестве основы трехмерную фигуру человека, удалив отдельные полигоны. Пример использования такого способа создания оболочки-примитива костюма представлен на рисунке П.3.5.

### 3) *Изменение оболочки костюма на уровне геометрии сетки*

При формировании оболочки-примитива важно задать нужный уровень сегментации, на основе которого будут в дальнейшем производиться различные трансформации на уровнях формы, участков и поверхности [4]. Для каждой проектной задачи можно выполнять отдельную конфигурацию сегментации.

Рассмотрим возможности изменения полигональной сетки на уровне поверхности формы. Заданную полигональную сетку на получившейся модели можно менять по следующим параметрам: изменение формы сегментов, изменение количества и, соответственно, частоты расположения сегментов, масштабирование отдельных или групп сегментов. Количество ребер сетки на определенном участке оболочки увеличивается в автоматическом режиме при активации параметров Chamfer и Connect. Данные модификации могут быть применены к отдельному или группе полигонов, а также ко всей поверхности формы [18].

Конфигурация сегментов может быть четырехугольной или треугольной. Также имеется функция автоматического изменения рисунка сетки с помощью параметра Generate Topology. Варианты геометрии сетки оболочки-примитива с помощью данного параметра представлены на рисунке П.3.6. Форма сегментов сетки также может меняться ручным способом, когда вершины и грани перемещаются в пределах поверхности объекта.

Изменение количества сегментов и их масштабирование могут производиться как на всей форме, так и на отдельном участке или полигоне ручным способом путем введения дополнительных граней или их удаления, а также автоматическим способом с помощью модификатора Tesselate. Отдельно следует отметить, что 3D-программы дают возможность произвольного рисования линий, которые автоматически становятся частью структуры сетки.

#### 4) *Изменение оболочки костюма на уровне поверхности*

После того, как установлена геометрия сетки, следует определить уровень пластичности оболочки-примитива, которая задается модификатором, позволяющим сгладить заданные неровности или, наоборот, сбросить сглаживание, выполнив выделение граней (Modifier List – Smooth). Стоит отметить, что сама геометрия сетки остается постоянной, уровень пластичности объекта изменяется на визуальном уровне. Таким образом, возможности программы позволяют на любом этапе моделирования костюма задавать обтекаемую или граненую форму костюма.

Изменение оболочки костюма на уровне поверхности возможно путем применения различных параметров к подобъектам, а также отдельными модификаторами. Возможно выполнение различных отверстий и задавание рельефа в ключе общей формы.

Отверстия могут быть выполнены в ключе выделения отдельных или группы полигонов и их удаления. Функция выполнения вставки по краям группы, отдельного полигона или вершины в виде рамки (параметр Inset) может использоваться при выполнении решетчатых перфораций, при котором удаляется внутренняя часть полигона, а внешняя часть в виде рамки остается.

При необходимости выполнения соединения дополнительными полигонами различных участков разрыва геометрии используется параметр Bridge, создающий мосты с различным уровнем сегментации, сужения или расширения, а также перекручивания.

Параметрический модификатор Lattice преобразует ребра модели в решетку, а на пересечении ребер решетки задает дополнительные связующие элементы эллиптической формы. Можно выполнять форму костюма как с обоими элементами модификатора, так и по отдельности. Ребрам решетки и связующим элементам можно задать радиус, количество сегментов и сторон, округляя или задавая более граненую поверхность. Данный способ создания решетчатой структуры формы уже имеет параметр толщины, поэтому выполнение утолщения оболочки костюма перед подготовкой модели к печати не требуется. Для корректного использования данного модификатора в аспекте создания

решетчатой формы важно, чтобы сегменты модели костюма не имели малую площадь. В обратном случае, решетки и связующие элементы будут накладываться друг на друга, создавая цельную рельефную форму без отверстий или, наоборот, быть достаточно тонкими для возможного воспроизведения печати.

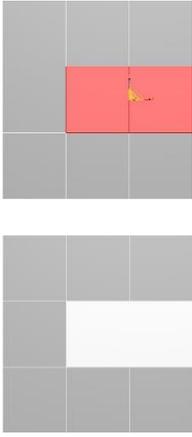
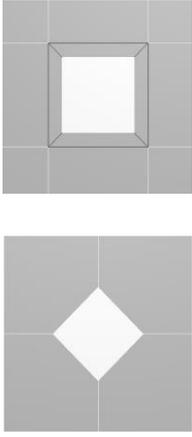
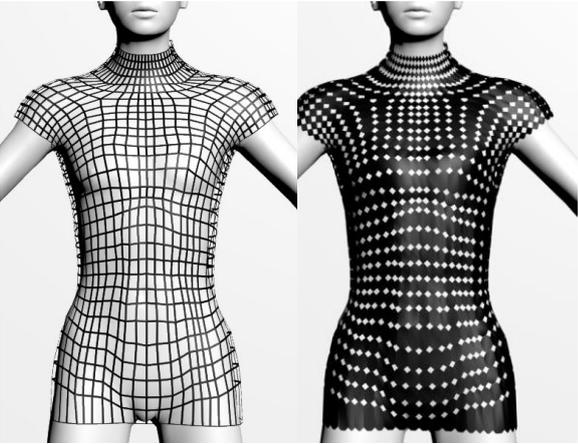
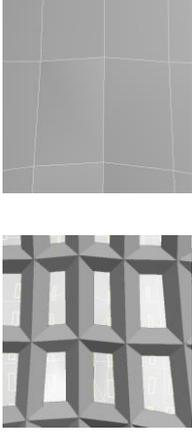
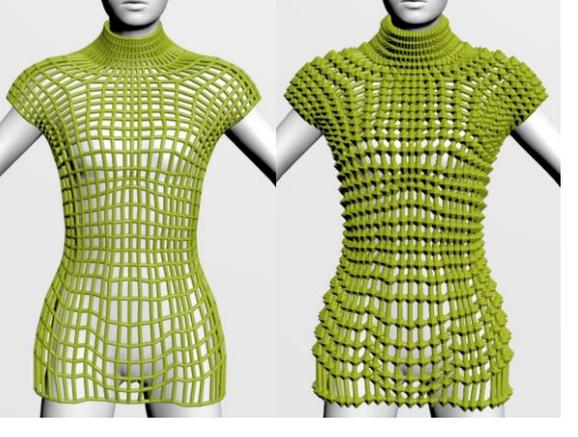
Рассмотрим способы создания рельефа оболочки костюма. Сегменты полигонального объекта можно экструдировать снаружи формы или вовнутрь (параметры Extrude и Bevel), таким образом, задавая дополнительную геометрию с различным значением высоты и с настройками масштабирования выдавливаемой части. Сегменты могут выдавливаться группами, когда задается линейный рельеф или по отдельности, когда каждый полигон экструдирован в своем направлении, выполняя точечный рельеф.

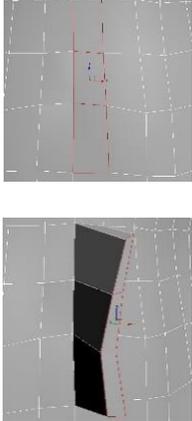
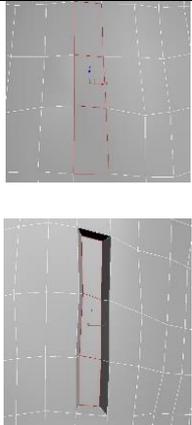
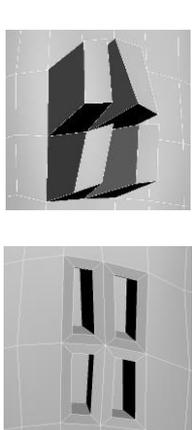
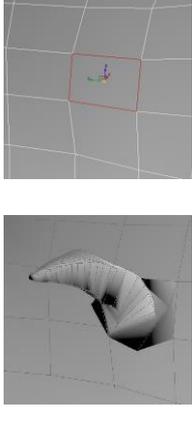
Функция выполнения вставки по краям группы, отдельного полигона или вершины в виде фаски (параметр Inset) может использоваться при выполнении рельефа на поверхности оболочки костюма, при котором выдавливается рамка, а внутренняя часть остается, или наоборот. Вершины сетки также имеют функцию выполнения фаски, когда точка превращается в дополнительный сегмент – ромб или треугольник (в зависимости от формы ячеек сетки), который может быть выдавлен, образуя треугольную или четырехугольную пирамиду с заданным значением высоты и расширения на уровне поверхности. С использованием инструментов FreeForm возможно произвольное вытягивание геометрии на заданное расстояние, при котором автоматически задаются дополнительные группы полигонов.

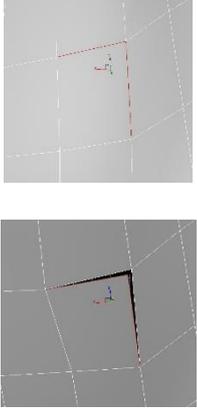
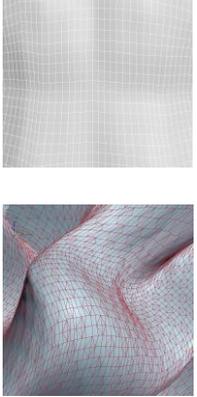
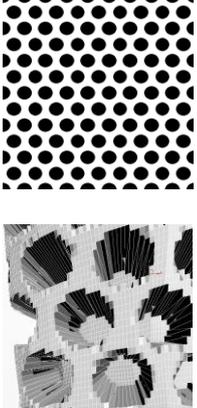
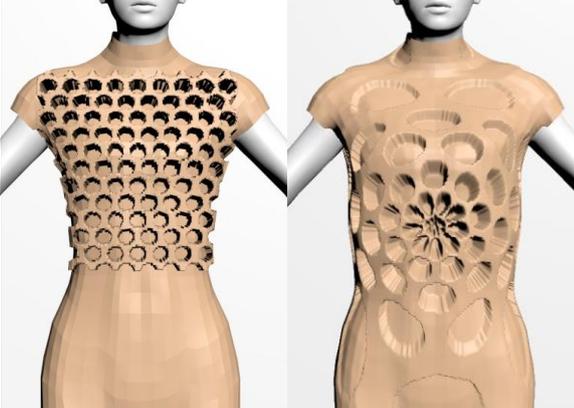
На уровне ребер сетки выполняются разрывы между полигонами, когда необходимо выполнить загибание отдельных участков при сохранении общей формы оболочки.

Существуют также модификаторы, которые автоматически по сетке задают определенную кривизну поверхности в ключе всего объекта или его части. Для наибольшего эффекта объекты должны иметь высокополигональную структуру сетки. Рассмотрим несколько подобных модификаторов.

Способы изменения поверхности оболочки костюма  
на основе ПО Autodesk 3ds Max

Задача	Решение	Схема	Варианты форм костюма
Создание линейных отверстий	Выделение группы полигонов, удаление		
Выполнение перфораций	Создание фаски (Inset) полигона/вершины, удаление внутреннего полигона		
Выполнение решетчатой структуры объемной формы	Применение модификатора Lattice		

Задача	Решение	Схема	Варианты форм костюма
Создание линейных выпуклостей	Выделение группы полигонов, вытягивание снаружи формы (Extrude)		
Создание линейных вогнутостей	Создание фаски (Inset) для группы полигонов, вытягивание внутрь формы (Extrude)		
Создание точечных выпуклостей и вогнутостей	Отдельное выделение полигонов или создание фаски (Inset), вытягивание внутрь/ снаружи формы (Extrude)		
Создание криволинейных выдавливаний	Использование инструмента свободного вытягивания геометрии из полигонов (FreeForm-PolyDraw-Branches)		

Задача	Решение	Схема	Варианты форм костюма
Создание разрывных загибающихся участков	Выделение граней, применение параметра Split, отгибание полигона по заданной вершине		
Создание неоднородного рельефа	Использование модификатора Noize		
Создание рельефа по заданному изображению	Использование модификатора Displase на основе монохромного изображения		

Модификатор Noise используется при необходимости создания неоднородного волнообразного рельефа на поверхности объекта. Данная функция деформирует объект, изменяя положение вершин вдоль выбранных осей в случайном порядке, таким образом, создавая различные шумы и неровности с различной задаваемой силой воздействия и размером волн искажения. При

изменении рельефа с учетом сохранения общей формы оболочки необходимо задавать минимальные значения силы воздействия данного модификатора.

Модификатор Wave задает волнообразную линейную амплитуду, а Ripple – радиальную волнообразную амплитуду.

Модификатор Displace искажает поверхность формы объекта по заданному монохромному изображению с повышенной контрастностью. Светлые участки изображения будут иметь максимальное воздействие на вытягивание поверхности трехмерной формы, а темные, соответственно, минимальное. Можно задать воздействие на поверхность формы с различным значением силы, вектором, а также алгоритмом повторений перемещения наложенного искажения.

Исследование основных функциональных возможностей изменения оболочки на уровне поверхности заключены в таблицу 8 «Способы изменения оболочки костюма на уровне поверхности на основе исследования ПО Autodesk 3ds Max», в которой изложены некоторые задачи изменения поверхности оболочки и их решение, а также продемонстрированы варианты костюма.

Изменение оболочки на уровне поверхности может выполняться после определения геометрии сетки, а также после изменения оболочки на уровне формы. Рассмотрим некоторые параметры ПО, отвечающие за трансформацию оболочки костюма на уровне формы.

##### 5) *Изменение оболочки костюма на уровне формы*

Изменение оболочки костюма на уровне формы возможно с помощью следующих способов:

- выполнение перемещения в пространстве подобъектов (вершины, ребра, границы, полигона);
- скульптурирование формы инструментами FreeForm;
- параметрическая трансформация специальными модификаторами.

Применение вышеперечисленных способов может быть на отдельном участке или по всей форме оболочки. Приведем примеры параметров каждого из способов.

Выполнение перемещения в пространстве подобъектов может происходить на локальном и расширенном уровне. На локальном уровне происходит смещение участка в аспекте заданного выделения. Если потянуть точку, грань или сегмент, за ней потянется только примыкающая геометрия. При применении малого значения смещения образуется рельеф поверхности оболочки с различной степенью амплитуды, при этом сохраняется общая форма. Применение большого значения смещения одного или нескольких участков оболочки может изменить общий силуэт костюма. В зависимости от установленного значения сглаживания поверхности, такие формы могут иметь ребристую или обтекаемую поверхность. На расширенном уровне с помощью параметра подобъектов *Soft Selection* перемещение сегментов происходит с заданным значением воздействия на другие подобъекты. Получаются плавные заостренные или округлые впадины или выемки, которые могут также с воздействием на приближенную к ним геометрию сетки вращаться и масштабироваться. Такой метод наиболее эффективен для высокополигональных объектов.

Отдельные участки геометрии оболочки в ходе воздействия на него инструментов скульптуринга *FreeForm* могут смещаться в разные стороны, выдавливаться, уплотняться в ключе заданного радиуса и силы воздействия. Данные инструменты позволяют изменять оболочку, выполняя асимметричную форму, а также с использованием параметра *Painter Option* симметричную форму, когда ручная трансформация с одной стороны костюма автоматически дублируется с другой.

Рассмотрим способ изменения формы объекта на полигональном уровне с помощью применения параметрических модификаторов. В соответствии с поставленной задачей трансформироваться могут сразу несколько объектов, отдельный объект, а также его часть. В случае модификации отдельного участка или поверхности, необходимо конвертировать объект в полигональный (*Convert to Editable Poly*). Приведем краткий обзор возможностей некоторых модификаторов.

Модификатор FFD (Free From Deformation) представляет собой свободную деформацию формы по заданным точкам габаритного контейнера (гизмо), количество которых может регулироваться по ширине, длине и высоте. Контрольные точки могут по одной или всей группой тянуться в разные стороны, масштабируя или плавно искажая геометрию объекта;

Другие модификаторы выполняют отдельные параметры трансформации формы, которые могут также выполняться FFD:

- модификатор Stretch растягивает объект с возможностью задавания усилия сжатия в центре объекта;

- модификатор Taper сужает объект в трапецию с возможностью задавания усилия сжатия в центре объекта;

- модификатор Skew деформирует объект, наклоняя его в сторону с заданным направлением;

- модификатор Bend сгибает объект по определенной оси и направлению.

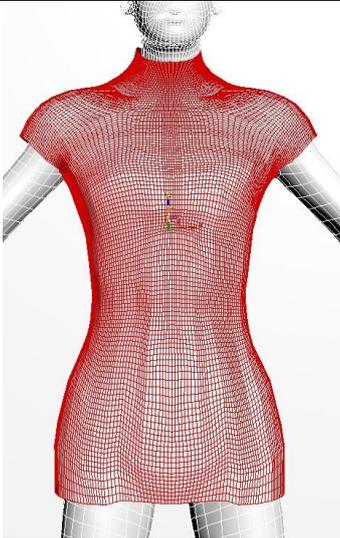
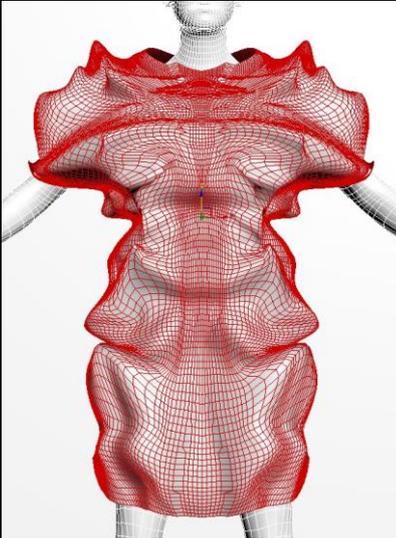
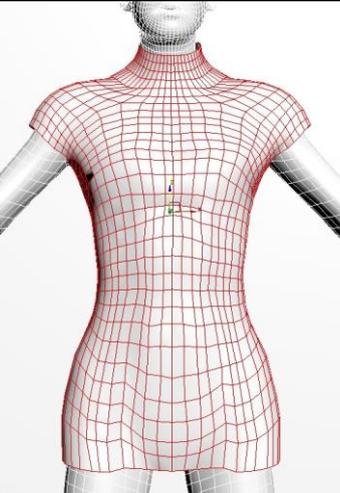
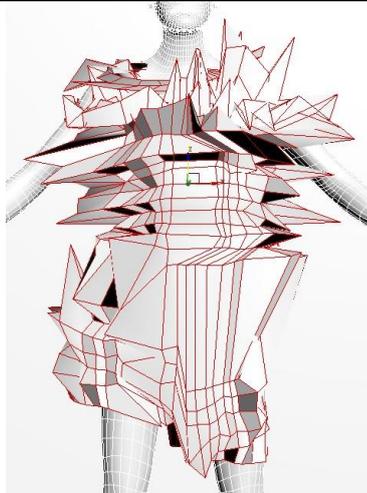
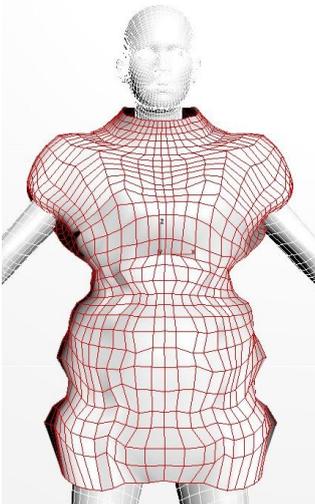
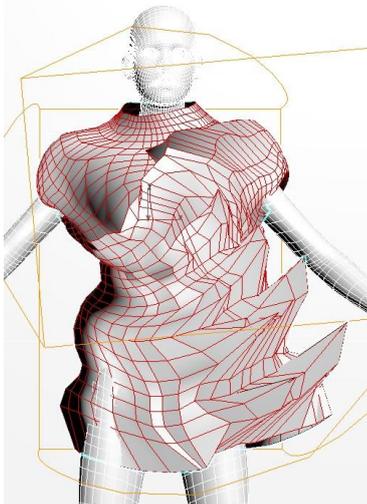
Также можно выполнять скручивание модели по заданной оси модификатором Twist или округлять объект с назначенной степенью сферизации модификатором Spherify.

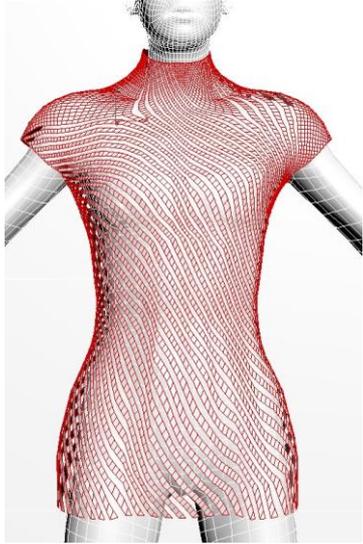
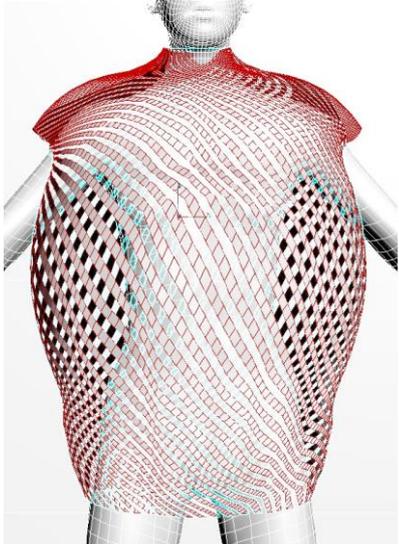
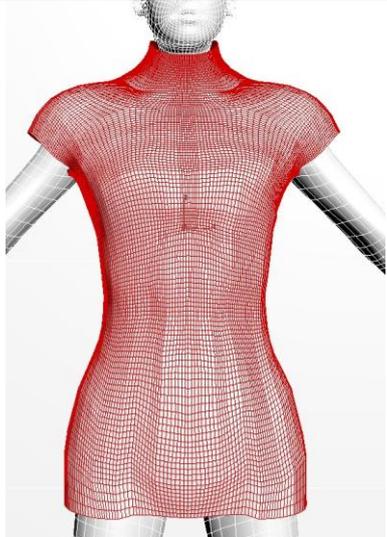
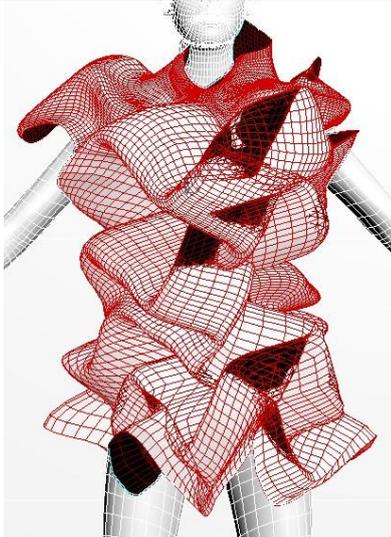
Рассматриваемый в аспекте изменения оболочки на уровне поверхности модификатор Noize при определенных значениях смещения по осям X, Y и Z изменяет форму костюма, выполняет высокую вариативность силуэтов костюма в случайном порядке. Варианты изменения оболочки костюма на уровне формы с использованием данного модификатора представлены на Рисунке П.3.7.

Исследование основных функциональных возможностей изменения оболочки на уровне формы заключены в таблице 9 «Способы изменения формы оболочки костюма на основе ПО Autodesk 3ds Max», в которой изложены некоторые задачи изменения поверхности оболочки-примитива и их решение, а также продемонстрированы варианты костюма.

## Способы изменения формы оболочки костюма на основе ПО Autodesk 3ds

Мах

Задача	Решение	Оболочка костюма с заданной геометрией сетки	Оболочка костюма после изменения формы
Выполнение вогнутостей и выпуклостей обтекаемой формы	Использование: - модификатор FFD; - инструменты скульптуринга FreeForm; - полигональный параметр Soft Selection		
Выполнение вогнутостей и выпуклостей граненой формы	Применение: - вытягивание отдельных подобъектов с применением нулевого уровня сглаживания объекта; - инструменты скульптуринга FreeForm		
Выполнение скручивания формы	Использование модификатора «Twist»		

Задача	Решение	Оболочка костюма с заданной геометрией сетки	Оболочка костюма после изменения формы
Сферизация формы	Использование модификатора «Spherify»		
Случайная деформация формы	Использование модификатора «Noize»		

После выполнения итоговой формы костюма оболочковым способом, необходимо использовать такой модификатор, как Shell, который добавляет толщину с внешней или внутренней стороны модели за счет дополнительных граней полигональной сетки. Важно, чтобы толщина по всей форме соответствовала возможным параметрам печати, зависящим от диаметра выдавливаемой нити. В зависимости от уровня гибкости используемого материала и уровня сложности формы костюма, минимальная толщина стенок может варьироваться.

Рассмотрим выполнение основных этапов создания монолитной формы костюма **модульным способом моделирования**.

*1) Создание модуля*

Модули могут иметь объемную или плоскую форму с некоторым утолщением, которые моделируются следующими способами: использование примитивного объекта без изменений или с изменением формы; создание модуля путем полигонального построения на основе сплайнового или NURBS-моделирования; комбинирование объектов с применением параметров объединения [67].

*2) Формирование оболочки костюма из модулей*

Создание монолитной формы костюма в аспекте модульного способа моделирования заключается в дублировании модулей и наложении их друг на друга. Рассмотрим некоторые способы формирования оболочки костюма из модулей:

а) формирование монолитной оболочки путем прикрепления модулей друг к другу с заданным значением наложения геометрии. В данном случае форма создается путем пространственного дублирования и наращивания поверхности;

б) формирование монолитной оболочки путем крепления модулей к заданной поверхности костюма. При использовании такого способа в создании формы одежды с различными отверстиями внутренняя оболочка может быть удалена. В 3D-редакторе существует такая функция, как рисование или равномерная заливка объектами на поверхности формы (инструмент Object Paint) с регулированием размера объектов, поворота по разным осям и вариативности плотности расположения объектов.

Несмотря на то, что объекты в 3D-редакторе имеют внутри пустое пространство, при печати они будут заполненными. После формирования объемного изделия модули необходимо свести в один для предотвращения коллизионных ошибок при подготовке к печати, так как пересекающиеся грани и ребра могут привести к инверсии пустых участков на заполненные.

Одним из результативных художественно-визуальных решений печатного костюма является его проектирование на основе интеграции 3D-моделирования и методов бионического формообразования, разработанных Белько Т. В. [4, 5, 7, 8, 10]:

- морфологическая адаптация членений природного аналога в геометрической сетке цифровой 3D-модели оболочки костюма;
- полигональная и параметрическая модификация оболочки с заданной бионической сетчатой структурой на уровне поверхности формы;
- 3D-моделирование монолитной формы костюма оболочковым способом на основе объемно-пространственной формы природного аналога (выявление геометрической структуры сетки оболочки путем морфологической адаптации членений природного аналога, параметрическая модификация оболочки на уровне формы);
- 3D-моделирование монолитной формы костюма модульным способом на основе объемно-пространственной формы природного аналога.

Практические эксперименты использования ПО Autodesk 3ds Max в аспекте создания трехмерных форм костюма позволили сформировать определенные заключения и рекомендации:

1) Трехмерное моделирование костюма может быть реализовано на основе двух технологических способов:

– моделирование формы костюма на основе двухмерного художественного, технического эскизного аналога изделия или модели-шаблона, когда пользователь реализует поставленную задачу выполнения объема изделия или его доработки (при использовании отсканированной в объеме модели-шаблона) по определенному алгоритму действий;

– моделирование на основе экспериментального поиска вариантов формы костюма согласно импровизированному типу использования различных функций и инструментов ПО. В данном случае 3D-редактор представляется как набор трехмерных художественных инструментов и алгоритм исполнения может иметь хаотичный вид набора различных параметров и функционала.

2) Выполняя различные модификации с формой и использование параметров согласно задуманной дизайнером задачи, могут получаться различные ошибки, когда геометрия накладывается друг на друга. Такие случайные формы в отдельных случаях могут иметь эстетическую ценность (Рис. П. 3.8) и с помощью инструментов образования толщины оболочки модель может быть подготовлена для печати.

3) Выполнение различной степени наложения геометрии друг на друга в ходе реализации различных параметров в виде вытягивания, смещения, перемещения подобъектов путем параметрического изменения, когда параметры применяются с неправильным положительным или отрицательным значением и задают новые формы костюма с высокой художественной выразительностью, что может быть применено для изготовления творческих эскизов костюма;

4) При моделировании костюма следует учитывать специфику технологии FDM-печати и рабочую область 3D-принтера. При малом размере рабочей области принтера необходимо делить трехмерный объект на части и после печати осуществлять их соединение различными способами – склейкой, сборкой путем введения шарниров или сборкой деталей со встроенными элементами фиксации.

На основе исследования трехмерного моделирования с использованием ПО Autodesk 3ds Max разработаны шесть оболочек монолитной структуры костюма оболочковым и модульным способом (Рис. П.3.9, П.3.10, П.3.11, П.3.12, П.3.13, П.3.14).

Алгоритм трехмерного моделирования модели №1: создание облегающей фигуру человека оболочки-примитива со средней сетчатой структурой сетки; генерация полигональной сетки в структуру Вороного; выполнение перфораций на уровне каждого полигона параметром Bevel; изменение оболочки на уровне формы (FreeForm); утолщение стенок модели (Shell).

Алгоритм трехмерного моделирования модели №2: создание полублегающей фигуру человека оболочки-примитива со средней сетчатой структурой сетки; выполнение вогнутостей и выпуклостей, разрушающих

изначальную структуру формы инструментом FreeForm; преобразование оболочки в каркас (Lattice).

Алгоритм трехмерного моделирования модели №3: создание полублегающей фигуру человека оболочки-примитива со средней сетчатой структурой сетки; удаление полигональных групп по вертикали с чередованием через одну линию; с помощью инструментов скульптуринга (FreeForm) оболочка подверглась деформации до рельефного уровня с сохранением общего очертания формы изделия; с помощью функции соединения полигонов в пространстве между полосами сформировались диагональные соединительные элементы или «мосты» в различных местах; утолщение стенок оболочки (Shell).

Алгоритм трехмерного моделирования модели №4: создание облегающей фигуру человека оболочки-примитива с высокополигональной структурой сетки; изменение топологии сетки на ромбовидную структуру; удаление полигональных групп по вертикали с чередованием через одну линию; утолщение стенок оболочки (Shell).

Алгоритм трехмерного моделирования модели №5: создание тороидального узла (Torus Knot); копирование модуля с образованием вокруг фигуры человека объемно-пространственной формы; корректировка формы за счет применения модификатора FreeForm, моделирование подложки и поддержек для печати.

Алгоритм трехмерного моделирования модели №6: создание тороидального узла (Torus Knot) и его модификация (сплющивание); копирование модуля с целью создания упорядоченной группы; копирование групп модулей вокруг фигуры человека в объемно-пространственную форму; корректировка формы за счет применения модификатора FreeForm, моделирование подложки для печати.

### **3.3. 3D-моделирование формы костюма методом послойного наплавления (FDM)**

3D-моделирование формы костюма методом послойного наплавления (FDM) заключается в образовании изделия 3D-принтером за счет послойного нанесения

расплавленной пластиковой нити. Прежде чем приступить к 3D-моделированию формы костюма, необходимо познакомиться с технологией печати, устройством и типами 3D-принтеров.

Принтер состоит из корпуса, устройства для крепления катушки с нитеобразным материалом, экструдера и платформы, на которой наращивается модель. Принцип печати состоит в следующем: материал подводится к экструдеру, который, используя валик и систему захвата, подает и отводит точное количество материала в нагревательный блок; нагревательный блок экструдера расплавляет материал до нужной температуры; нагретый материал проталкивается через нагретое сопло; выдавленный материал укладывается на модель в нужных местах путем движения печатающей головки или стола по заданным координатам X/Y/Z. Открытый тип рабочей камеры принтера подходит для использования материалов, которые долго стеклуются (PLA пластик). При медленном остывании пластика в камере с высоким температурным режимом может происходить растекание и деформация слоев, что повлияет на качество изделия. Для материалов с высокой степенью усадки при остывании (ABS-пластик и нейлон) подходит закрытый тип рабочей камеры, который позволяет добиваться медленного и равномерного охлаждения материала. Быстрое остывание слоев может привести к появлению в модели трещин.

Для 3D-принтеров свойственна подвижная структура, которая перемещает механизмы устройства (платформа и экструдер) по определенной схеме. Существуют четыре таких структуры: картезианская, дельта, полярная и роботизированный манипулятор [77].

Картезианская подвижная структура более распространенная и выдает более точную печать. В типах CoreXY и H-bot каретка экструдера перемещается по осям XY, платформа передвигается по оси Z, в типе XZ Head Y Bed платформа передвигается по оси X, каретка экструдера перемещается по осям ZY.

В дельта-принтерах механика представляет собой закрепленный и соединенный в единую конструкцию на трех точках экструдер с неподвижной платформой для печати. Имеет более высокую скорость печати, но обладает

меньшей точностью на краях модели, чем предыдущие типы механизмов. В аспекте применения данной технологии в изготовлении цельной формы одежды малые погрешности даже в несколько миллиметров могут не играть значительной роли. Отличаются такие принтеры также и в относительно высокой области печати. К примеру, размер рабочей области принтера Prism Special Dual составляет 400 x 400 x 1200 мм.

Роботизированный манипулятор представляет собой конструкцию с программируемым механическим устройством, который может образовывать модель путем ее построения не только по горизонтали, но и вертикали, и диагонали, что облегчает процесс создания сложных конструкций [113] и открывает возможности построения более легких объемных форм костюма, подобно использованию 3D-ручки. Сегодня такие принтеры обладают или миниатюрной областью печати, или применяются с достаточно большой областью печати в промышленной сфере при воспроизведении крупногабаритных объектов, что не подходит для воспроизведения формы костюма.

Технология 3D-печати состоит из следующих этапов: подготовка модели к печати, печать модели; постпечатная обработка. Исследование основных аспектов каждого этапа проводилось с целью выполнения разработанных цифровых трехмерных форм костюма в материале методом послойного наплавления (FDM).

### **Подготовка модели к печати**

Подготовка трехмерных моделей для 3D-печати осуществляется в специальной программе – слайсере, основной функцией которой является перевод файла с 3D-изделием в специальный управляющий код для 3D-принтера. Подготовка модели к печати производится путем нарезания трехмерной модели на множество плоских двухмерных слоев, из которых принтер будет складывать физический объект [36].

В каждом слайсере реализована функция редактирования объекта – перемещение, вращение, зеркальное отражение, масштабирование и размещение на платформе. Размещать и печатать можно сразу несколько объектов. Раздел «Параметры модели» осуществляет возможность настройки отдельных

параметров для каждой модели при их одновременной печати. В определенных слайсерах имеется функция редактирования полигональной сетки (ПО IceSL) или разделение объекта на части (ПО Slic3r), а также функция визуализации ребристой поверхности напечатанной модели в рамках заданных параметров (ПО 3DPrinterOS, Slic3r). Рассмотрим базовые настройки программы-слайсера на примере ПО Cura и их влияние на качество печати изделия.

#### *Раздел «Качество»:*

– Параметр «Высота слоя». Большие значения приводят к быстрой печати при низком разрешении, а малые – к замедлению печати с высоким разрешением. Параметр высоты или толщины слоя определяет, на какую высоту по вертикали будет смещаться печатная головка при переходе к следующему слою 3D-печати. Толщина слоя влияет на качество поверхности и прочность изделия. Чем высота слоя больше, тем более ребристой будет поверхность изделия, при этом увеличивается прочность, так как спаивание толстых слоев, в сравнении с тонкими, происходит качественнее. Толщина выдавливаемой нити зависит от размера сопла. Максимальная толщина слоя, как правило, должна быть на  $\frac{1}{4}$  тоньше толщины сопла. В зависимости от типа принтера, бывают следующие диаметры сопла: 0,2 мм, 0,3 мм, 0,4 мм, 0,8 мм, 1 мм, 2 мм. Во избежание длительной печати формы одежды, можно использовать сопло с диаметром от 0,8 мм;

#### *Раздел «Ограждение»:*

Параметр «Толщина стенки» является значением, разделенным на ширину линии стенки, которое определяет количество стенок. Параметр «Толщина дна/крышки» – значение, разделенное на высоту слоя, задает количество слоев в дне/крышке.

#### *Раздел «Заполнение»:*

– Параметр «Плотность заполнения» – настраиваемая функция, регулирующая количество материала и степень пустоты внутри контура модели. Контур модели (по умолчанию 1,2 мм) – это стенка, отделяющая внешнее пространство от внутренностей модели. Так как модели для печати имеют

замкнутый объем, когда печать закончена, внутреннее пространство полностью скрыто. Минимальная прочность изделия диктуется отношением 12,5 % материала и 87,5% пустоты. Чем выше заполнение, тем больше вес и время печати модели;

– Параметр «Изменение шага заполнения» задает уменьшение количества шагов наполовину плотности заполнения вглубь модели. Области, располагающиеся ближе к краю модели, получают большую плотность до указанного параметра в «Плотность заполнения». Также заливки может и не быть, такая модель будет называться пустотелой.

*Раздел «Материал»:*

– Параметр «Температура сопла» устанавливается в зависимости от температуры плавления выбранного пластика. Параметр также влияет на начальную и конечную температуру печати. При печати на платформе важно, чтобы первый слой хорошо прилип к платформе для устойчивости изделия при физическом воздействии на него движущегося сопла. Разные пластики образуют различную степень прилипания к платформе. При низкой степени адгезии пластика устанавливается подогрев платформы в параметре «Температура стола»;

– Параметр «Диаметр» регулируется исходя из толщины используемой нити;

– Параметр «Поток» устанавливает компенсацию потока: объем выдавленного материала умножается на этот коэффициент;

– Параметр «Разрешить откат». При печати изделия с неоднородным заполнением периметров слоев (при использовании перфораций, волнообразных структур и т. д.), необходимо включать функцию отвода нити, который дает команду соплу втягивать в себя нить на период перемещения сопла от одной печатающейся области к другой. В обратном случае сопло будет выдавливать небольшое количество нити, образуя нависающие тонкие нити. При печати гибким пластиком Flex функция отвода нити может забить сопло, поэтому следует ее отключать.

*Раздел «Скорость»:*

- Параметр «Скорость печати» регулирует отдельно перемещение экструдера, заполнение объекта, печать стенок, поддержек, подложки и т. д.;
- Параметр «Скорость перемещения» влияет на перемещение экструдера на первом слое.

*Раздел «Охлаждение»:*

- Параметр «Включить вентиляторы» регулирует обдув выдавливаемой нити, улучшая качество печати слоев с малой площадью, а также мостов и нависающих элементов формы.

*Раздел «Поддержки»:*

- Параметр «Генерация поддержек» создает вспомогательные структуры, без которых нависающие части модели во время печати будут складываться;
- Параметр «Размещение поддержек» настраивает расположение вспомогательных структур с касанием стола и внутри формы.

Если все участки формы изделия имеют угол наклона до 70 градусов, печать может осуществляться без вспомогательных структур. При формировании сложной геометрической формы изделия с нависающими элементами (угол наклона стенки от 71 градуса), которые находятся строго в перпендикулярном положении от платформы и между ними по оси Z отсутствуют другие части одежды, можно устанавливать поддерживающие структуры только от платформы (в слайсере: Support – Support Placement – Touching Buildplate).

При формировании сложной геометрической формы изделия, где по одной из координат по оси Z находятся от двух и более нависающих элементов, между которыми пустое пространство, необходимо выставить поддерживающие структуры по всей области модели (в слайсере: Support – Support Placement – Everywhere).

При наличии малого количества таких участков поддерживающие структуры можно устанавливать вручную на этапе создания модели в трехмерном редакторе или в специальных слайсерных программах. Такие участки, как правило, имеют

изначально-настроенную толщину стенки 0,3, 0,2 мм и имеют в горизонтальном разрезе зигзагообразную структуру.

Основная функция таких поддержек – не дать накладываемым слоям провиснуть при печати. Они должны иметь высокую устойчивость и не рушиться при возведении на ней формы, одновременно с этим – быть достаточно хрупкими для не затруднительного физического удаления с напечатанного изделия. Допуск печати с поддержками продемонстрирован на рисунке 7.

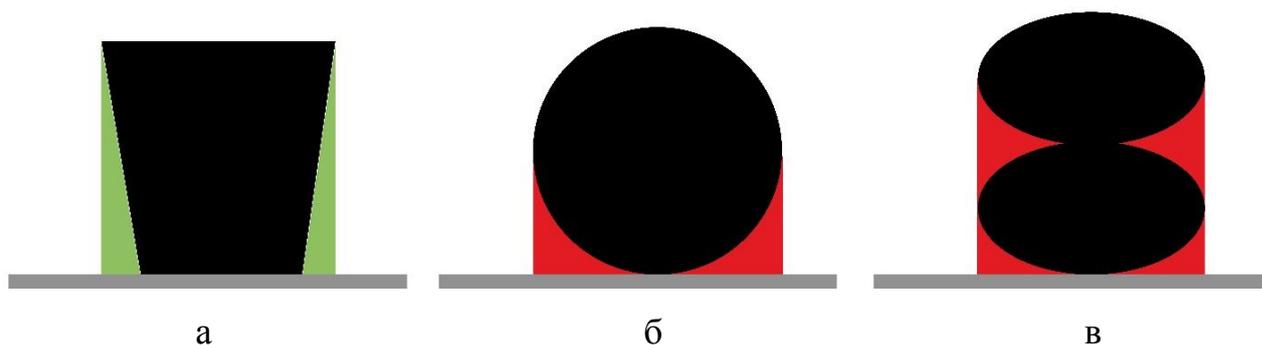


Рисунок 7 – (а) допуск печати без поддержки до 70 градусов наклона; (б) поддержка от платформы при нависании единичного участка по оси Z; (в) поддержка выборочная или по всей области изделия при нависании от двух участков по оси Z.

#### *Раздел «Прилипание к столу»:*

– Параметр «Тип прилипания к столу» задает различные варианты, которые помогают улучшить склеивание пластика к платформе. Кайма добавляет однослойную плоскую область вокруг основания печатаемой модели, предотвращая ее деформацию. «Подложка» добавляет толстую сетку с крышей под модель. «Юбка» – это линия, печатаемая вокруг модели, но не соединенная с ней. Наиболее подходящим типом для печати монолитной формы костюма с ровным основанием является «Подложка». Как показывает практика, модель на ней качественно «наращивается» и легко отсоединяется после завершения печати;

– Параметр «Ширина каймы» задает расстояние между моделью и самой удаленной линией каймы. Более широкая кайма увеличивает прилипание к столу, но также уменьшает эффективную область печати.

Введение определенных параметров всегда зависит от типа и свойств материала. Приведем обзор свойств некоторых типов материалов, подходящих для печати одежды в аспекте установки параметров печати и условий эксплуатации.

*ABS-пластик* – непрозрачная термопластическая смола на основе сополимера акрилонитрила с бутадиеном и стиролом. Из-за токсичных испарений при плавлении данного типа пластика не рекомендуется его использование в 3D-принтерах с открытой камерой. Температура при печати данным материалом должна составлять от 245 до 260 °С. При остывании участка, находящегося непосредственно на платформе, возможна его деформация в виде сворачивания, поэтому необходимо устанавливать подогрев стола в 100 °С. Пластик имеет низкую устойчивость к прямому воздействию солнечного света: при температуре 100 °С материал размягчается. Температура эксплуатации изделия из данного пластика варьируется от – 40 до + 80°С. Для воспроизведения трехмерной модели со сложной формой и нависающими элементами используется дополнительный растворимый пластик HIPS, который плавится при температуре 210–245°С. В этом случае используются принтеры, имеющие два экструдера.

*PLA пластик* в отличие от *ABS* является биоразлагаемым не токсичным материалом из термопластичного алифатического полиэфира на основе молочной кислоты. Пластик имеет непрозрачную поверхность. При печати нет необходимости в нагревании платформы. Температура экструзии пластика равна 190–230°С. Температура эксплуатации изделия варьируется от –20 до +40°С, готовая модель размягчается и деформируется при температуре 50 °С. Изделие, напечатанное таким пластиком, достаточно хрупкое и прослужит от нескольких месяцев до нескольких лет, затем подвергается разложению. В связи с этими критериями такой тип пластика подходит больше для изготовления тестовых форм костюма с минимальным временем эксплуатации.

*SBS-пластик* – прозрачный нетоксичный материал, в основе которого стирол-бутадиен сополимер, пропускающий свет на 93%. Температура экструзии данным пластиком варьируется от 220°С до 245°С при температуре рабочего стола 85–

100°C и минимальном обдуве. Температура эксплуатации изделия из SBS-пластика – в пределах от –80°C до +65°C.

Объекты, напечатанные из пластиков ABS, PLA и SBS будут иметь жесткую структуру с отсутствием какого-либо уровня гибкости и эластичности. Данные характеристики изделия могут обеспечить типы пластиков FLEX, ТЭП или ТПЕ (или термоэластопласт), являющихся филаментом, объединяющим в себе свойства пластика и резины. По своим параметрам данный тип пластика схож с твердым силиконом. Температура экструзии должна составлять 200–210°C, температуру печатающей платформы необходимо устанавливать 60–70°C. Печать следует вести на низких скоростях в 20–40 мм/с, иначе нить будет прогибаться и проскальзывать между прижимным механизмом и колесом экструдера. Устанавливать обдув изделия не рекомендуется, в обратном случае, это может привести к засорению сопла, что приведет к прекращению выдавливания нити при работе принтера. Температура эксплуатации изделий из FLEX-пластика варьируется в пределах от –40 до +100 °С.

Как видно из исследования свойств материалов, используемых для FDM печати при изготовлении костюма, параметры печати могут быть разнообразны. И хотя большинство слайсинг-систем поддерживает функцию автоматического подбора параметров печати при указании типа материала и уровня качества печати (высокое, среднее и низкое), данные параметры при тестовом запуске объекта не всегда могут обеспечить желаемыми условиями печати.

Необходимо учитывать специфику материала, форму модели, наличие поддерживающих структур, желаемого качества и скорости печати. Некоторые программы автоматически устраняют ошибки, допустимые в моделях, но большинство программ только определяют точки, в которых могут возникнуть проблемы при печати. При возникновении таких проблем необходимо отредактировать модель в 3D-программе до устранения ошибок формы.

После того, как произведен один или несколько тестовых запусков печати объекта и выполнены окончательные настройки параметров печати, система автоматически вычисляет время печати, длину затрачиваемой нити, а также

примерный вес напечатанной модели. После завершения ввода параметров печати необходимо сохранить файл, который автоматически экспортируется в формат «Gcode», представляющий собой код, регулирующий процесс печати и его содержимое представляет собой текст. Файл выводится на принтер через USB или SD-карту и вставляется в SD-разъем принтера.

На основе проведенного исследования, в ПО Cura произведена подготовка к печати разработанных трехмерных монолитных структур костюма в масштабе 1:2,5 (Таблица 10). При печати трехмерной формы модели использовался 3D-принтер JG maker Magic с печатающей областью принтера 220 мм x 220 мм x 250 мм, диаметром сопла 0,4 мм. Принтер имеет картезианскую кинетическую схему, построенной на декартовой системе координат типа XZ Head Y Bed, где платформа передвигается по оси X, каретка экструдера перемещается по осям ZY. Механизм калибровки платформы ручной на основе винтовой системы. Для печати использовался филамент PLA с диаметром нити 1,75 мм.

Учитывая технологические особенности принтера, используемого материала и вышеуказанные критерии печати, трехмерные модели формы костюма подготовлены в слайсинг-системе Cura по следующим параметрам: в рамках раздела параметра «Качество» установлена высота слоя 0,3 мм; в рамках раздела «Ограждение» оставлены параметры по умолчанию: толщина стенки 0,8 мм, толщина дна/крышки 0,8 мм; в разделе «Заполнение» установлена плотность заполнения 80%, изменение шага заполнения 0 %; в рамках раздела параметра «Материал» установлена температура сопла 210 ° C, диаметр нити 1,75 мм, поток 100%; в разделе «Скорость» установлены параметры скорости печати и скорости перемещения 60 мм/с.

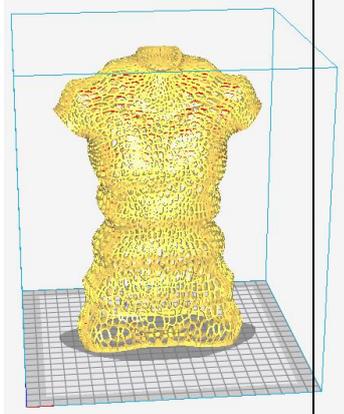
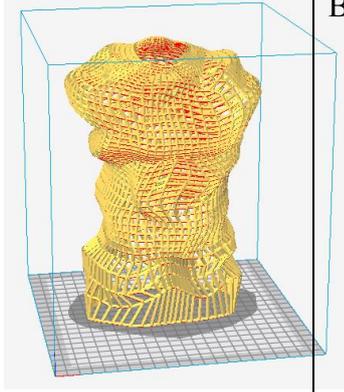
Разрешение отката нити при движении сопла вне зоны печати устанавливалось не во всех моделях с целью визуального анализа образования нависающих тонких нитей.

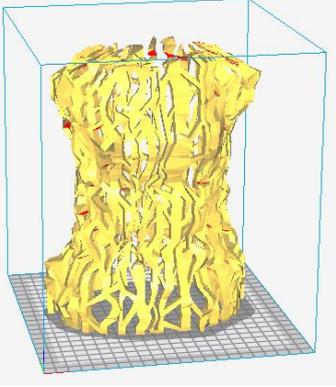
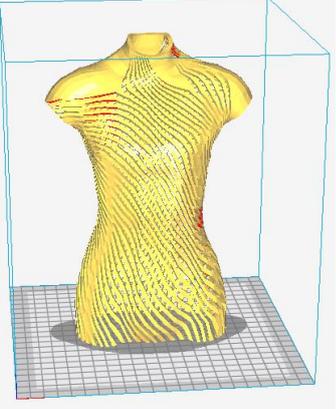
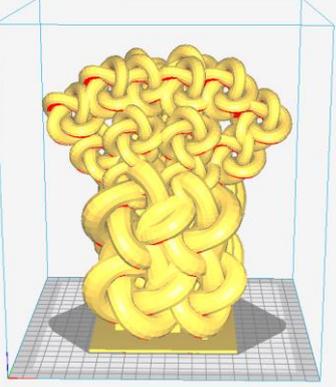
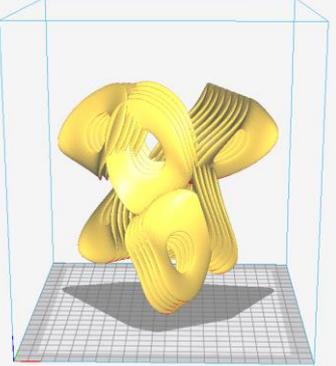
После установки параметров система высчитывает время печати, длину затрачиваемой нити, а также примерный вес изделия, продемонстрированные в таблице 10 «Выходные данные настройки печати бесшовных структур костюма».

После завершения ввода параметров печати файл сохраняется в формате «Gcode», перемещается на SD карту и вставляется в SD разъем принтера. Далее, производится печать модели.

Таблица 10

Выходные данные настройки печати бесшовных структур костюма с использованием ПО Ultimaker Cura

№ модели	Расположение модели на рабочей области принтера	Разрешение отката нити	Время печати	Длина затрачиваемой нити (м)	Вес (г)
1		Включено	16 ч. 42 мин.	16,42	130
2		Включено	21 ч. 13 мин.	26,54	210

№ модели	Расположение модели на рабочей области принтера	Разрешение отката нити	Время печати	Длина затрачиваемой нити (м)	Вес (г)
3		Отключено	25 ч. 26 мин.	46,69	369
4		Отключено	10 ч. 59 мин.	18,65	148
5		Отключено	21 ч. 06 мин.	41,9	332
6		Отключено	14 ч. 03 мин.	30,4	244

## Печать модели

Перед тем как запустить печать, необходимо откалибровать платформу, то есть, устранить возможный наклон. В зависимости от модели принтера, механизм калибровки может быть автоматическим или ручным.

Рассмотрим пример калибровки платформы на принтере JG maker Magic. Запустив принтер, необходимо установить исходные точки координат платформы и печатающей головки (Prepare – Autohome), затем выбрать режим возможного ручного перемещения платформы и печатной головки (Prepare –Disable steppers).

После этого нужно последовательно переместить экструдер в разные точки платформы и с помощью регулировочных болтов настроить дистанцию между соплом и платформой. Для этого практикующие специалисты рекомендуют использовать специальные шаблоны или лист бумаги примерно в 100 микрон: лист должен свободно перемещаться между соплом и платформой таким образом, чтобы лист испытывал давление низкого уровня и не имел даже минимальных следов деформации. Правильная калибровка платформы позволит выполнить равномерную подложку костюма, который должен крепко держаться у основания и не смещаться во время печати при физическом воздействии сопла.

После того, как платформа откалибрована, необходимо вручную настроить нагрев экструдера (Control – Temperature – Noize – «Установить необходимую температуру»). После нагрева нужно протолкнуть нить через механизмы сквозь трубку в экструдер, и продавить нить до вытекания расплавленного пластика из сопла. Затем запустить печать (Print from SD – «Название файла»).

Во время печати можно менять следующие параметры: скорость печати в процентном соотношении, температуру платформы и экструдера, уровень текучести нити и т. д. На начальном этапе воспроизведения формы необходимо следить за ходом работы принтера. Точность равномерного выполнения подложки и ее качественного прилипания к столу гарантирует печать модели без ее потери. Отдельные принтеры имеют поддерживающие дистанционные режимы управления. К примеру, расширяемый модуль дистанционного управления ESP8266 Wi-Fi или принтер со встроенным дистанционным модулем Maker Bot

Replicator Z18 позволят регулировать систему печати в удаленном доступе через специальное приложение в системе Android или iOS.

В ходе исследования технологии FDM печати с использованием принтера JG maker Magic были изготовлены шесть моделей монолитных структур костюма, продемонстрированные на рисунках П.3.9, П.3.10, П.3.11, П.3.12, П.3.13, П.3.14.

Полученные модели в масштабе имеют жесткую структуру. Более пластичную структуру формы одежды можно получить с использованием гибкого материала FLEX. Для изготовления единой формы костюма в фактическом размере высотой 625 мм необходимо использовать принтеры с габаритной печатной областью (Picaso 3D Designer XL – 600x360x610 мм, STRATEX M700 – 350x350x700 мм, Prism Special Dual – 400x400x1200 мм и т. д.).

### **Постпечатная обработка**

Для снятия готовой модели со столика применялись тонкие скребки. Напечатанные изделия в местах соединения слоев имеют ребристую и шероховатую поверхность. Принцип обработки материала зависит от используемого материала. При печати изделия из SBS-пластика поверхность будет матовой, но обработка сольвентом или его аналогами позволит сгладить неровности и вернуть прозрачность, достигнув визуального сходства со стеклом. Изделия из пластиков ABS, PLA и SBS могут подвергаться шлифованию абразивными материалами и сверлению, окрашиванию акриловыми красками. Изделия из пластика Flex обрабатываются только при склеивании деталей путем термической обработки.

Полученные в ходе 3D-печати модели №3, №4 и №5, в параметрах которых задавалась печать без включения разрешения отката нити при движении сопла вне зоны печати, имеют в отверстиях провисающие нити. В модели № 3, 6 их удаление производилось с использованием диагональных клещей, поверхность шлифовалась абразивными материалами. В модели № 4 провисающие нити остались не тронутыми.

Различные дефекты при печати могут служить в качестве дополнительного элемента дизайна (Рис. П.3.15). Рассмотрим возможные дефекты, которые могут задаваться, изменяя фактуру объекта:

1) Создание горизонтальных ворсистых образований пластика в виде тонких волосков или паутины между вертикальными стенами объекта в пустом пространстве можно задать, настроив параметры максимальной текучести пластика при отсутствии выполнения втягивания нити назад в сопло. При этом экструдер будет перемещаться по открытой поверхности с малым значением вытекания пластика из сопла;

2) Выполнение горизонтальных мостов, нависающих между двумя выступающими точками, может достигаться за счет следующих параметров: отсутствие конструктивных поддержек; уменьшение обдува, чтобы обеспечить медленное охлаждение нити, таким образом, нить будет мягкой и провисать; увеличение скорости экструзии, которое может повлиять на образование разрыва нитей;

3) Образование зазоров на поверхности за счет прерывания слоев и неоднородной экструзии может быть создано за счет установки минимального значения множителя выдавливания материала;

4) Формирование провисающих нитей снаружи поверхности объекта можно достичь за счет увеличения уровня потока филамента и настройки высокого множителя экструзии;

5) Создание провисающих вниз групп нитей снаружи объекта можно выполнить за счет цифрового моделирования на поверхности формы выпирающих деталей. Печать объекта нужно производить с увеличенным коэффициентом экструзирования, отсутствием обдува и высокой скорости печати.

Таким образом, можно демонстрировать в автоматизированных процессах изготовления объектов возможность имитации исполнения формы ручным способом.

### 3.4. Перспективы использования технологий 3D-печати в одежде

Экспериментальные образцы единичной одежды по технологии 3D-печати начинают постепенно адаптироваться и переходить на уровень производства одежды для реального потребителя благодаря новым подходам исследования и совершенствованию структуры и свойств материала [93, 96].

*Первым перспективным направлением использования технологии 3D-печати в костюме является разработка эластичных материалов.* Используя твердые и гибкие виды пластика, дизайнеры предлагают использовать в формообразовании одежды принцип многомерных стретч-тканей или принцип модульности на основе кинетических соединительных систем (Рис. П. 3.16).

Создание стретч-тканей на 3D-принтере происходит путем печати отдельных «ткань-деталей», которые впоследствии собираются воедино, как конструктор.

К примеру, при разработке технологии изготовления гибких печатных структур материалов (Flexible Textile Structures), созданные командой LAB в 2014 году в составе Негара Калантара и Алирезы Борхани в сотрудничестве с исследовательским отделом в области аддитивного производства DREAMS при Политехническом университете Вирджинии основной целью было достижение одновременной гибкости и жесткости. Стретч-материал достигается за счет переплетенных между собой колец с формированием различных сетчатых структур с пересекающимися линиями и узорами, напоминающими преобразования Мебиуса. Элементы узоров не смещаются, несмотря ни на какие манипуляции с материалами. Данные материалы были изготовлены по технологиям аддитивного производства FDM и SLS с использованием программ Rhino, Grasshopper и SolidWorks.

Другое исследование технологий изготовления печатного стретч-материала проводится исследователем из Манчестерской школы искусств в Великобритании Марком Бекрофтом, который считает, что будущее текстиля будет тесно переплетено с 3D-печатью. Проект Digital Interlooping 2019 года демонстрирует возможность 3D-печати вязаной структуры с использованием селективного

лазерного спекания (SLS) и нейлона. В будущем такой метод производства может быть применен в швейной и текстильной промышленности для изготовления изделий по индивидуальному заказу или для специального применения.

Образцы для испытаний, напечатанные Марком Бекрофтом, состоят из пластичных структур в форме трубки, вдохновленные внешним видом вязаных изделий. Трубчатые бесшовные структуры, изготовленные из нейлонового порошка, продемонстрировали превосходную прочность, стабильность и эластичность в постпечатных тестах.

*Вторым перспективным направлением использования технологии 3D-печати является разработка кинетических форм костюма с коммуникативной функцией системы электронных компонентов.* Совершенствование и миниатюризация робототехники дали возможность синтезировать кинетические технологии и пластичные материалы, создавая «живые» формы костюма (Рис. П.3.17) [66, 98, 99]. Технология 3D-печати одежды позволяет на проектном уровне закладывать в структуру костюма различные секции для электронных компонентов. С использованием таких токопроводящих материалов для печати как ABS Conductive или ABS Dissipative, можно выполнять кинетическую форму без дополнительных проводных элементов [106].

Введение в кинетическую электронную систему различных контрольно-измерительных приборов позволяет программировать движение костюма или его частей при определенном алгоритме действий различных субъектов (оппонент, внешняя среда, пользователь костюма). Таким образом, костюм наделяется «интеллектом» и, работая в автономном режиме, воплощает в себе свойства «живой» оболочки человека.

Синтез основы костюма, изготовленный по технологии трехмерной печати FDM и кинетических элементов, встречается в проекте Бенхаз Фарахи (Benhaz Farahi). При поддержке компаний Autodesk Pier 9 и Madworkshop, автор, исследуя возможности создания одежды как второй кожи, продемонстрировал в 2015 году шипованную накидку Caress of the Gase. Изделие содержит в себе нитиноловые проволоки с памятью формы, которые начинают двигаться при фиксировании

датчиком взгляда оппонента. Накидка изготовлена с использованием многослойной трехмерной печати принтером Objet500 Connex и демонстрирует, как современные технологии могут способствовать развитию моды, исследуя тектонические свойства материалов.

Другим примером симбиоза технологии печати и электронных компонентов является ряд костюмов голландского дизайнера Анук Випрехт (Anouk Wipprecht). В 2013 году Анук Випрехт в сотрудничестве с архитектором Никколо Касас (Nikola Kasas) проектирует бесшовный каркас платья Smoke Dress, воспроизводимый по технологии трехмерной печати SLS, позволяющий установить более усовершенствованную систему генерации дымовой завесы, оснащенную специальными сенсорами, работающие в автоматическом режиме. При печати изделия Smoke Dress был использован полиамид и уникальный материал TPU 92A-1, обладающий высоким уровнем гибкости. Стоит отметить, что для создания трехмерного файла (CAD-файл) применялось программное обеспечение 3-matics STL.

Такая одежда представляет собой экспериментальный синтез ЭК и костюма, основанный на творческом поиске воспроизводимо-отображающейся коммуникационной функции и новых форм костюма. Дизайнеры закладывают в такой костюм различные философско-концептуальные идеи, основанные на восприятии человека и костюма как некой единой субстанции. Костюм, создаваемый на грани искусства и моды, является переходником между человеческими эмоциями и окружающим миром [66, 99, 103, 104, 105].

*Третьим перспективным направлением развития формообразования костюма с использованием технологии 3D-печати является появление кинетических костюмов с коммуникативной функцией без электронных компонентов.* Симбиоз кинетических технологий и 3D-печати позволил австрийским исследователям из Университета Вуллонгонга и Массачусетского технологического института в 2013 году разработать революционную технологию объемной печати, основанную на создании форм, которые могут менять свою конфигурацию и другие свойства в соответствии с различными воздействиями

(Рис. П.3.18). Детали складываются, сужаются или растягиваются под воздействием тепла, света, тока или жидкости. Принятие во внимание, кроме длины, ширины и высоты, дополнительного фактора – времени – послужило основанием назвать технологию 4D-печатью. Технология 4D-печати основывается на концепции создания программируемой материи, которая имеет инновационное свойство изменять плотность, модуль упругости, проводимость, цвет и т. д. целенаправленным способом [42]. 4D-формы изготавливаются по принципу 3D-печати, но с добавлением дополнительных активирующих материалов, к примеру, гидрогеля.

Применение таких технологий в изготовлении бесшовных структур костюма может позволить выполнение коммуникативной функции без дополнительных кинетических электронных компонентов, когда, к примеру, изменение какого-либо показателя во внешней среде (температура, уровень загрязнения и т. д.), будет воздействовать на оболочку костюма, которая изменяет форму в автономном режиме. К примеру, перфорированная оболочка может уплотняться, закрывая отверстия или, наоборот, расширяться, увеличивая воздухопроницаемость. Заданная технология может решить проблему персонализации печатного костюма, когда оболочки изделия увеличенного размера принимает форму фигуры человека под определенным воздействием.

Инструментом проектирования печатных костюмов с заданной кинетической функцией с электронными компонентами или материалами с памятью формы может стать синтез технологий трехмерной визуализации и виртуальной реальности. Трехмерная визуализация, помимо выполнения основной задачи моделирования трехмерной формы костюма для воспроизведения ее на 3D-принтере, может решить задачу демонстрации поведения печатного материала на виртуальной фигуре человека в статичном и динамичном режиме. В свою очередь, технологии виртуальной реальности позволят одновременно совершать проектирование костюма путем вовлечения в систему сразу нескольких специалистов в реальном режиме, тестирование реализации функции костюма,

симуляцию использования костюма пользователем в виртуальном режиме в различных эксплуатационных контекстах и т. д. [13, 91, 144].

Современные технологии трехмерной визуализации и виртуальной реальности сегодня находятся на этапе развития и являются элементной базой для становления новых поколений мультимодальных человеко-компьютерных интерфейсов проектирования сложных объектов. Интеграция данных технологий и их применение позволит совершенствованию и адаптации системы проектирования печатных костюмов с заданными коммуникативными функциями, а значит, будет происходить его развитие и становление в системе массового производства.

### ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 3

1. Поставленный научный эксперимент 3D-моделирования и аддитивного формообразования позволил разработать рекомендации дизайн-проектирования монолитной формы костюма, который может использоваться в виде методического материала для образовательной и практической деятельности.

а) При проектировании жесткой структуры костюма необходимо использовать такие типы пластиков как ABS или SBS. При проектировании структуры костюма, имеющей определенную степень растяжения, необходимо использовать пластик FLEX, а также закладывать в оболочку на этапе ее моделирования перфорации и рельефы. В перфорированной структуре растяжение достигается путем вытягивания отверстий, в рельефной структуре форма растягивается путем выпрямления поверхности;

б) Трехмерное моделирование костюма может быть реализовано на основе двумерного художественного, технического эскиза изделия или модели-шаблона, когда пользователь реализует поставленную задачу выполнения объема изделия по определенному алгоритму действий, а также на основе экспериментального поиска вариантов формы костюма согласно импровизированному типу использования различных функций и инструментов ПО. Создание трехмерной цифровой модели в САПР-системах может осуществляться оболочковым способом, в котором создается оболочка-примитив, подвергающаяся изменениям на уровне геометрии сетки, поверхности и формы, а также модульным способом, заключающимся в создании и дублировании модуля, его наложение на заранее заданную оболочку-примитив или фигуру человека.

в) При подготовке модели к печати необходимо учитывать, что закладываемая толщина слоя влияет на степень рельефности поверхности и прочность изделия – чем больше толщина слоя, тем более ребристее и прочнее будет поверхность изделия. Существует наличие двух вариантов подготовки модели к печати: задание «правильных» параметров печати, при которых реальная модель будет копией цифровой; задание «неправильных» параметров

печати, когда планируется печатать форму с различными дефектами, служащими в качестве дополнительного элемента дизайна.

2. Перспективами развития формообразования костюма в аспекте технологии 3D-печати могут являться: разработка материалов по принципу многомерных стретч-тканей или на основе модульности с кинетическими соединительными системами; разработка кинетических форм костюма с коммуникативной функцией, осуществляемая системой электронных компонентов; разработка технологии 4D-печати, позволяющая выполнять кинетические костюмы, оболочка которых приходит в движение в автономном режиме без дополнительных электронных компонентов под действием каких-либо внешних изменений.

## ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Бесшовная одежда является древнейшей формой костюма и содержит в себе массу эстетических, эксплуатационных и операционно-производственных преимуществ. Установлено, что развитие технологий изготовления бесшовной одежды и методов формообразования происходило в четыре этапа:

– первый этап формообразования элементов костюма ознаменован становлением ручных технологий обработки сырья животноводческой и растениеводческой отраслей;

– второй этап развития бесшовной одежды связан с усложнением ее формы за счет увеличения проектных возможностей материала и применения дополнительных инструментов обработки сырья и технологий изготовления изделий;

– третий этап развития бесшовной одежды базируется на появлении новых неорганических материалов и технологических возможностях формирования материала с заданными криволинейными характеристиками, переходом от ручных способов изготовления изделий к автоматизированным;

– четвертый этап развития бесшовной одежды заключается в интеграции сложившихся технологических принципов изготовления объемной одежды с не характерными для модной индустрии биологическими методами и техническими средствами, во внедрении аддитивных технологий производства, что сформировало инновационные направления формообразования костюма и значительно расширило границы проектных решений.

2. На основе системного анализа технологий изготовления одежды выполнена классификация современных методов формообразования бесшовных структур костюма: трансформация и деформация пластичной основы; наложение нитеобразного, связующего материала или элементов. Метод трансформации и деформации пластичной основы заключается в формировании одежды путем наложения и фиксации на фигуру плоского или трубчатого модуля, имеющего дополнительный объем и жесткость по средствам растяжения, сжатия и

выполнения изгибов. Метод наложения основывается на последовательном наложении связующего или нитеобразного материала, а также отдельных элементов, и разделяется на коконообразный и контурообразный способы. На основе анализа инновационных методов формообразования выявлено, что перспективным направлением развития бесшовного костюма являются аддитивные технологии.

3. Выявлены особенности и сформулированы рекомендации использования технологии FDM-печати при дизайн-проектировании монолитной формы костюма, алгоритм которого состоит из следующих этапов:

- определение структуры костюма по средствам создания двухмерного художественного и технического эскиза или изготовления из нетрадиционных материалов модели-шаблона, которая с использованием трехмерного сканирования может являться основой для выполнения цифровой модели костюма. На данном этапе дизайн-проектирования планируется степень жесткости структуры костюма путем выбора используемого материала и значения закладываемых отверстий и рельефов;

- цифровое построение монолитной формы костюма с использованием программного обеспечения для 3D-моделирования, которое может проводиться оболочковым и модульным способом. Оболочковый способ 3D-моделирования костюма заключается в образовании объемного объекта определенной формы закрытого типа, который подвергается различным модификациям на уровне формы, ее отдельных частей или поверхности. Модульный способ 3D-моделирования монолитной формы костюма заключается в создании изделия из наложенных друг на друга или на оболочку объемных или плоских объектов;

- 3D-моделирование формы костюма, включающее в себя подготовку модели к печати, печать и пост-обработку формы костюма. Подготовка модели к печати в слайсинг-программе заключается в закладывании параметров воспроизведения формы, целями которой может служить точное копирование цифровой модели в материале или воспроизведение дефектов в качестве дополнительных элементов дизайна. Печать модели включает в себя подготовку

оборудования, тестовую печать для проверки выставленных параметров на малых формах или ее отдельной части, а также непосредственное воспроизведение формы костюма с визуальным контролем на начальном этапе печати. Постпечатная обработка формы костюма реализуется в случае выполнения задачи устранения ребристой и шероховатой поверхности в местах соединения слоев путем химической или механической обработки в зависимости от используемого материала.

#### 4. Произведена практическая апробация исследования:

– на основе выявленных принципов формообразования бесшовных структур костюма методом трансформации и деформации пластичной основы разработаны четыре трансформируемых модуля одежды, форма которых основана на использовании простых геометрических фигур и тел: цилиндр, квадрат, прямоугольник и круг. Новизна и производственная применимость круглого трансформируемого модуля одежды подтверждена патентом на полезную модель: «Трансформируемый круглый модуль одежды» (пат. 177336 Рос. Федерация. № 2016127275; заявл.05.07.2016 ; опубл. 15.02.2018, Бюл. № 5).

– исследование способов формообразования бесшовной структуры костюма по принципу наслоения материала позволило выполнить практическую апробацию ряда моделей-шаблонов из нетрадиционных материалов, на основе которых, в САПР может создаваться цифровая трехмерная форма;

– в ходе исследования технологий дизайн-проектирования печатного костюма смоделированы оболочковым и модульным способами в ПО Autodesk 3ds Max и напечатаны на 3D-принтере JG maker Magic шесть монолитных форм одежды в масштабе 1:2,5 пластиком PLA.

#### 5. Определены возможные перспективы использования технологии 3D-печати в одежде:

– разработка эластичных материалов в виде стретч-тканей или принципа модульности на основе кинетических соединительных систем;

– разработка кинетических форм костюма с коммуникативной функцией системы электронных компонентов, в которой технология 3D-печати одежды

позволяет на проектном уровне закладывать в структуру костюма различные секции для электронных компонентов, а также являться способом добавления в форму токопроводящих материалов, которые позволят выполнять кинетическое изделие без дополнительных проводных элементов;

– появление кинетических костюмов с коммуникативной функцией без электронных компонентов на основе технологии 4D-печати, основывающейся на концепции создания программируемой материи, которая имеет инновационное свойство изменять плотность, модуль упругости, проводимость, цвет и другие характеристики целенаправленным способом.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Альбедиль, М. В начале была нить... / М. Альбедиль // Международный журнал «Теория моды». – 2009. - №11. – С. 169 – 177.
2. Альтапов, А. Р. Обзор материалов и технологий 3D-прототипирования изделий обувной промышленности / А. Р. Альтапов, М. А. Прец, И. Л. Голубева // Вестник технологического университета. – 2015. – Т.18, №23. – С. 88-91.
3. Безкостова, С. Ф. Контурное вязание: учебное пособие / С. Ф. Безкостова, Н. И. Пригодина, Л. П. Ровинская, Т. С. Филипенко. – Санкт-Петербург : ИПЦ СПГУТД, 2005. – 100 с.
4. Белько, Т. В. Бионические принципы формообразования костюма: автореф. дис. ... д-ра тех. наук : 17.00.06 / Белько Татьяна Васильевна. - Москва, 2006. – 34 с.
5. Белько, Т. В. Бионическое формообразование костюма / Т. В. Белько. - Москва : Моск. гос. текстил. университет, 2005. – 164 с.
6. Белько Т. В. Инновации и биотехнологии в модной индустрии: монография / Т. В. Белько // М-во образования и науки Рос. Федерации, Поволж. гос. ун-т сервиса. – Тольятти : ПВГУС, 2017. – 305 с.
7. Белько, Т. В. К вопросу об установлении гармоничных отношений между природой и индустрией моды / Т. В. Белько // Швейная промышленность. – 2005. – № 6. – С. 14-16.
8. Белько, Т. В. Костюм и природные принципы его формообразования / Т. В. Белько., Т. В. Козлова // Швейная промышленность. – 1997. – № 5. – С. 14-15.
9. Белько, Т. В. Природа и костюм: технологии трехмерного функционирования и моделирования объектного мира / Т. В. Белько // Текстиль. пром-сть. – 2004. – № 9. – С. 86-90.
10. Белько, Т. В. Создание бионической модели функционирования моды в костюме: автореф. дис. ... канд. тех. наук : 05.19.07 / Белько Татьяна Васильевна. - Москва, 1996. – 16 с.

11. Большой филателистический словарь / Под общ. ред. Н. И. Влади́нца и В. А. Якобса. – Москва : Радио и связь, 1988. – 320 с.
12. Васильченко, А. А. История техники вязания (к вопросу о возникновении ажурного пуховязания на южном урале) / А. А. Васильченко // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2015. – № 5 (180). – С. 4-8.
13. Вигер, И. Виртуальная реальность в промышленности / И. Вигер // журнал Control Engineering. – Санкт – Петербург : Издательство ООО «Электроникс Пабблишинг. – 2016. – №5(65). – С. 68-71.
14. Витоль, Я. И. Плиссе и гофре / Я. И. Витоль. – Москва : Местной промышленности и художественных промыслов РСФСР, 1963. – 42 с.
15. Голованов, Н. Н. Геометрическое моделирование / Н. Н. Голованов. – Москва : Физматлит, 2002. – 472 с.
16. Голубева, И. Л., Изучение цифрового прототипирования в курсе компьютерной графики с использованием продуктов Autodesk / И. Л. Голубева // Вестник Казан. технол. ун-та. – 2014. – Т.17, №13. – С. 343-344.
17. Гончарова О. Н. Аддитивные технологии – динамично развивающееся производство / О. Н. Гончарова, Ю. М. Бережной, Е. Н. Бессарабов, Е. А. Кадамов, Т. М. Гайнутдинов // Электронный журнал «Инженерный вестник Дона». – 2016. – №4 – URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3931>
18. Горелик, А. Самоучитель 3dsMax 2020 / А. Горелик. – БХВ-Петербург, 2020. – 544 с.
19. ГОСТ 25155 – 1982. Машины вязальные. Термины и определения – Введ. 1982-26-02 // ГОСТы и нормативы. – Режим доступа: [http://www.docload.ru/standart/Pages\\_gost/30102.htm](http://www.docload.ru/standart/Pages_gost/30102.htm)
20. Диев, О. Г. Интегральный подход к оценке конкурентоспособности товара // Известия Юго - Западного государственного университета. Серия: Экономика. Социология. Менеджмент. – 2014. – №1. – С. 100-104.
21. Докучаева, О. И. Архитектоника объемных структур / О. И. Докучаева. – Москва : НИЦ ИНФРА-М, 2015. – 336 с.

22. Дьяченко, С. В. Физико-механические свойства модельного материала с топологией трижды периодических поверхностей минимальной энергии типа гироид в форме куба / С. В. Дьяченко, Л. А. Лебедев, М. М. Сычев, Л. А. Нефедова // Журнал технической физики. – 2018. – Т. 88, вып. 7. – С. 1014-1017.
23. Дятчин, Н. И. История развития техники: учебное пособие / Н. И. Дятчин. – Ростов на Дону : Феникс, 2001. – 320 с.
24. Ермилова, Д. Ю. История домов моды: Учеб. пособие для высш. учеб. заведений. – 2-е изд., стер. / Д. Ю. Ермилова. – Москва : Издательский центр «Академия», 2004. – 288 с.
25. Жердев, Е. В. Искусство технологий и технологии искусства / Е. В. Жердев // Материалы международной научной конференции «Материал-технология-форма как универсальная триада в дизайне, архитектуре, изобразительном и декоративном искусстве» МГХПА им. С. Г. Строганова. – 2018. – С. 28-34.
26. Зеленова, Ю. И. Адаптация комбинаторного метода при проектировании моделей из кружевных полотен / Ю. И. Зеленова, В. С. Белгородский, Н. А. Коробцева // Вестник славянских культур. – 2020. – Т. 56. – С. 248-260.
27. Зленко, М. А. Аддитивные технологии в машиностроении : пособие для инженеров / М. А. Зленко, М. В. Нагайцев, В. М. Довбыш. – Москва : ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ», 2015. – 220 с.
28. Каминская, Н. М. История костюма : учеб. пособие для сред. спец. учеб. заведений лег. пром-сти / Н. М. Каминская. – 2-е изд., перераб. – Москва : Легпромбытиздат, 1986. – 168 с.
29. Кибалова Л. Иллюстрированная энциклопедия моды / Л. Кибалова, О. Гербенова, М. Ламарова // Перевод на русский язык И. М. Ильинской и А. А. Лосевой в 1986 г. – Прага: Артия, 1987. – 608 с.
30. Киреева, Е. В. История костюма: европейский костюм от античности до XX века / Е. В. Киреева. – 2-е изд., испр. – Москва : Просвещение, 1976. – 174 с.

31. Коваленко, Р. В. Современные полимерные материалы и технологии 3D печати / Р. В. Коваленко // Вестник Казанского технологического университета. – 2015. – № 1. – С. 263 -266.
32. Коннолли, П. Греция и Рим. Энциклопедия военной истории / П. Коннолли / Пер. с англ. С. Лопуховой, А. Хромовой. — Москва : ЭКСМО-Пресс, 2000. – 320 с.
33. Косников, Ю. Н. Поверхностные модели в системах трехмерной компьютерной графики: учебное пособие / Ю. Н. Косников. – Пенза : Пензенский государственный университет, 2007. – 60 с.
34. Крюкова Н. А. Разработка технологии отделки современной одежды на основе традиционных методов декорирования материалов / Н. А. Крюкова // журнал «Сервис в России и за рубежом». – 2014. – №1 (48). – С. 95-103.
35. Кутуева, Ю. С. Разработка способа проектирования цельнотканых оболочек с усилительными элементами : автореф. дис. ... канд. тех. наук : 05.19.04 / Кутуева Юлия Сергеевна. – Москва, 2008. – 27 с.
36. Кэнесс, Э. Доступная 3D печать для науки, образования и устойчивого развития / Э. Кэнесс, К. Фонда, М. Дзеннаро / МЦТФ, 2013. – 192 с.
37. Лаврис, Е. В., Теория и методы проектирования объемных малошовных оболочек с триаксальной и мультиаксальной структурой : автореф. дис. ...д-ра тех. наук : 05.19.04 / Лаврис Екатерина Васильевна. – Москва, 2011. – 45 с.
38. Махоткина, Л. Ю. Создание моделей одежды из новых видов материалов с заданными свойствами на основе натуральных полимеров / Л. Ю. Махоткина, О. И. Голованева, Ю. В. Голованева // Вестник Казанского технологического университета. – 2015. – № 19. том 18. – С. 190-193.
39. Мерцалова, М. Н. Костюм разных времен и народов : в 4 т. . Т. 1 / М. Н. Мерцалова. – Москва : Акад. моды, 1993. – 543 с.
40. Мкртчян, С. В. Материал, технология и форма как системные элементы объектов дизайна / Материалы международной научной конференции «Материал-технология-форма как универсальная триада в дизайне, архитектуре,

изобразительном и декоративном искусстве» / МГХПА им. С.Г. Строганова, 2018. – С. 83-86.

41. Мода XX века. Коллекция Института костюма Киото. – Москва : ТАСНЕН / АРТ – РОДНИК, 2012. – 350 с.

42. Нарушева, К. С. 4D-печать / К. С. Нарушева // Инноватика - 2018 : сборник материалов XIV Международной школы-конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – Томск. – 2018. – С. 434-437.

43. Непочатых, Е. В. Разработка метода проектирования и изготовления цельноформованных коллагенсодержащих деталей головных уборов: дис. ... канд. тех. наук : 05.19.04 / Непочатых Екатерина Викторовна. – Москва, 2011. – 196 с.

44. Нейман, Б. Наследие Мариано Фортунни-и-Мадрасо на выставке в Нью-Йорке / Теория моды. Одежда. Тело. Культура № 29 (осень 2013). – С. 225 – 229.

45. Новая Российская энциклопедия: Том 17(1): Ультразвук - Франко-Прусская / Под ред. Некипелов А.Д. – Москва : Энциклопедия, НИЦ ИНФРА-М, 2016. – 496 с.

46. Новгородова, Э. А. Древняя монголия (Некоторые проблемы хронологии и этнокультурной истории) / Э. А. Новгородова. – Москва : ГРВЛ, 1989. – 384 с.

47. Норенков, И. П. Основы автоматизированного проектирования: учеб. для вузов., 4-е изд., перераб. и доп. / И. П. Норенков. – Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2009

48. Никитина, Л. Л. Перспективы использования современных технологий 3D-печати в производстве изделий легкой промышленности из полимерных материалов / Л. Л. Никитина, О. Е. Гаврилова // Вестник технологического университета, 2015. – Т.18, №7. – С. 224-226

49. Окшотт, Э., Оружие и воинские доспехи Европы. С древнейших времён до конца Средневековья / Э. Окшотт. – Москва : ЗАО «Центрполиграф», 2009. – 704 с.

50. Пастушенко, И. Ю. Доспех-бахтерец из бартымского I селища / И. Ю. Пастушенко // Вестник Удмуртского университета. – 2010. – №3. – С. 150.

51. Патент на изобретение № 542656, СССР, МПК В29D 22/00(2006.01), В29С 41/14 (2006.01), В29К 101/00 (2006.01), В29L 22/00 (2006.01). Способ изготовления цельноформованных изделий : № 2059444 : заявлено 09.09.1974 : опубликовано 24.02.1977 / Савельев А. И. – 3 с.

52. Патент на изобретение № 971238 СССР, МПК А41Н 33/00 (2006.01). Способ фальцевания деталей швейных изделий : № 3285947 : заявлено 12.05.1981 : опубликовано 07.11.1982 / Орлов И. В., Левицкий Ю. Е. – 2 с.

53. Патент на изобретение № 2266863 Российская Федерация, МПК В68F 1/00 (2006.01), С14С 11/00 (2006.01). Способ формования объемных и криволинейных деталей изделия : № 2004121272 : заявлено 12.07.2004 : опубликовано 27.12.2005 / Баранова Е. В., Лисиенкова Л. Н., Стельмашенко В. И. ; заявитель МГУС. – 4 с.

54. Патент на изобретение № 2426486 Российская Федерация, МПК А42С 1/00 (2006.01). Способ изготовления цельноформованных изделий из коллагенсодержащего материала : № 2010127507/12 : заявлено 06.07.2010 : опубликовано 20.09.2011 / Зарецкая Г. В., Огородникова Е. В., Гончарова Т. Л., Лопасова Л. В. ; заявитель МГУДиТ. – 5 с.

55. Патент на изобретение № 2457764 Российская Федерация, МПК А41D 31/02(2006.01), А42В 1/00(2006.01), В44С 5/00(2006.01), А43В 1/00(2006.01). Способ получения цельноформованной детали из войлока : № 2011127070/12 : заявлено 04.07.2011 : опубликовано 10.08.2012 / Садыкова Ж. А., Бектемирова Л. С., Алибекова М. И., Зарецкая Г. П., Гончарова Т. Л. ; заявитель МГУДиТ. – 7 с.

56. Патент на полезную модель № 4446 Российская Федерация, МПК А41D 31/02 (2006.01), А42В 1/00 (2006.01), В44С 5/00 (2006.01), А43В 1/00 (2006.01). Трубчатый модуль женской одежды : № 2011127070/12 : заявлено 1996.05.21 : опубликовано 1997.07.16 / Белько Т. В., Козлова Т. В. ; заявитель Московская государственная текстильная академия им. А. Н. Косыгина. – 8 с.

57. Патент на полезную модель № 96470 Российская федерация, МПК А41 D 15/00 (2006.01). Предмет одежды-трансформер : № 2010114181/12 : заявлено 12.04.2010 : опубликовано 10.08.2010 / Манцевич А. Ю. – 46 с.

58. Патент на полезную модель № 104026 Российская федерация, МПК А 41 D 15/00 (2006.01). Предмет одежды-трансформер : №2010150954/12 : заявлено 14.12.2010 : опубликовано 10.05.2011 / Манцевич А. Ю. – 77 с.

59. Патент на полезную модель № 132957 Российская федерация, МПК А 41 D 15/00 (2006.01). Трансформируемый палантин : №2013122309/12 : заявлено 14.05.2013 : опубликовано 10.10.2013 / Савватеева Н. С., Харьковская Г. Г.; заявитель АмГУ. – 14 с.

60. Патент на полезную модель № 177336. Российская Федерация, МПК А41D 15/00. Трансформируемый круглый модуль одежды: № 2016127275: заявлено 05.07.2016 : опубликовано 15.02.2018 / Курбатова М. А., Белько Т. В. – 8 с.

61. Патент на полезную модель № 2342060 Российская федерация, МПК А 41 D 15/00. Многофункциональный предмет одежды – трансформер : №2007122823/12 : заявлено 18.06.2007 : опубликовано 27.12.2008 / Манцевич А. Ю., Доронина Е. В. – 9 с.

62. Петросова, И. А. Разработка методологии проектирования внешней формы одежды на основе трехмерного сканирования: дис. ... д-ра тех. наук : 05.19.04 / Петросова Ирина Александровна. – Москва, 2014. – 522 с

63. Петушкова, Г. И. Трансформативное формообразование в дизайне костюма. Дизайн костюма: Теоретические и экспериментальные основы / Г. И. Петушкова. - Москва : ЛЕНАНД, 2015. – 464 с.

64. Плеханова, В. А. 3D-технологии и их применение в дизайне / В. А. Плеханова // Журнал Территория новых возможностей. Вестник Владивостокского государственного университета экономики и сервиса, 2015. – С. 144-152

65. Понсар, А. В. Разработка новых методов художественного проектирования одежды и обуви из валяльно-войлочных материалов

: автореф. дис. ... канд. тех. наук : 17.00.06 / Понсар Алена Валерьевна. – Москва, 2009. – 16 с.

66. Попова, В. В. Инновационный текстиль. Принципы формообразования : дис. ... канд. иск. наук : 17.00.06 / Попова Виолетта Вячеславовна. – Москва, 2017. – 199 с.

67. Ромашкова, О. В. Комбинаторика в 3d-моделировании как средство творческого развития обучающихся по направлению подготовки дизайн (уровень бакалавриата) О. В. Ромашкова, Ф. Ш. Салитова // Мир науки, культуры, образования. – 2019. – С. 152 - 155.

68. Руденко, С. И. Культура хуннов и Ноинкульинские курганы. Москва – Л.: 1962. – 206 с.

69. Савитов, П. А. Описание старинных русских утварей, одежд, оружия и ратных доспехов и конского прибора / П. А. Савитов. – Москва : Ломоносов, 2010. – 205 с.

70. Садыкова, Ж. А. Разработка метода проектирования и изготовления деталей одежды объемной формы из войлока: автореф. дис. ... канд. тех. наук : 05.19.04 / Садыкова Жаннаткан Абдукамаловна. – Москва, 2012. – 30 с.

71. Сафронова, И. Н. Современные интерпретации традиционных технологических приемов в дизайне костюма / И. Н. Сафронова, Т. В. Балланд // Журнал: «Дизайн. Материалы. Технологии» 3(43)/2016. – С. 92-95.

72. Семенов, С. А. Развитие техники в каменном веке. Ленинград: Наука, 1968. – 376 с.

73. Семина Г. В. Традиционная техника валяния войлока и различные техники его орнаментации в исторической ретроспективе // Научно-методический электронный журнал «Концепт». – 2016. – Т. 11. – С. 3501–3505. – URL: <http://e-koncept.ru/2016/86738.htm>.

74. Слюсар, В. И. Фаббер-технологии. Новое средство трехмерного моделирования / В. И. Слюсар // Электронный журнал «Электроника». – 2003. – № 5 – URL: <http://www.electronics.ru/journal/article/1269>

75. Стельмашенко, В. И. Практикум по материалам для одежды и конфекционированию: учебное пособие / В. И. Стельмашенко, Н. А. Смирнова, Т. В. Розаренова и др. - Москва : ИД ФОРУМ: ИНФРА-М, 2011. – 144 с.

76. Стоун, Дж. Оружие и доспехи всех времен и народов: пер. с англ. Л. И. Зданович / Дж. Стоун. – Москва : Астрель, 2010. – 767 с.

77. Трошин, А. А. Обзор технологических возможностей FDM-3D принтеров / А. А. Трошин, О. В. Захаров // Журнал «Современные материалы, техника и технологии». Издательство: Закрытое акционерное общество «Университетская книга». – 2020. - №1(28) – С. 61-65.

78. Цветкова Н. Н. Декоративное и концептуальное направления развития современного искусства текстиля / Н. Н. Цвектова // Журнал «Труды Санкт-Петербургского государственного университета культуры и искусств», том 189. – 2010. – С. 125-130.

79. Цветкова, Т. М. Исследование рынка аддитивного производства в России / Цветкова Т. М. // Научные записки молодых исследователей № 4/2015 – С. 13-21

80. Чебышев, П. Л. Полное собрание сочинений. Том 5. Прочие сочинения. Биографические материалы. — Москва : Изд-во академии наук СССР, 1951. — 485 с.

81. Шафрановская, Т. Одежда из дерева и птичьих перьев / Т. Шафрановская // Хочу всё знать! №2 – 1959. – С. 82-86.

82. Шейпак, А. А. История науки и техники. Материалы и технологии: Учеб. пособие. Ч. 1. – 2-е изд., стереотип. – Москва : МГИУ, 2009. – 276 с.

83. Шиндлер, О. В. Классификация русских корпусных доспехов XVI века [Электронный ресурс] // История военного дела: исследования и источники. — 2014. — Т. V. — С. 417-486., С. 452

84. Шитова, С. Н. Народное искусство: войлоки, ковры и ткани у южных башкир (Этнографические очерки) / С. Н. Шитова – Уфа: Китап, 2006, - 200 с.

85. Щербакова, Н. В. Технология производства цельноформованной обуви: учебное пособие / Н. В. Щербакова. - Шахты : ФБГОУ ВПО "ЮРГУЭС", 2011. – 189 с.
86. Якимова, Е. А. Разработка метода проектирования и способа изготовления трехмерных многоплоскостных оболочек из ткани: автореф. дис. ... канд. тех. наук : 05.19.04 / Якимова Елена Александровна. – Москва, 2010. – 25 с.
87. Colin, E. Handbook Of Laser Technology And Applications / E. Colin, J. Webb, D. Julian, C. Jones. - CRC Press. – 2004. – 2725 p.
88. Ehrlich, D. Laser etching for flip-chip debug and inverse stereolithography for MEMS / D. Ehrlich, S. Silverman, R. Aucoin, M. Burns. – Solid State Technology, June, 2001. – P. 145–150.
89. Felkin, W. A. Histoty of the Machine-Wrought Hosiery and Lace Manufactures. London: David & Charles. – 1967. – 596 p.
90. Jacobs, G. 3d laser scanning Ultra-fast, High-Definition, Reflector less Topographic Survey: Professional Surveyor magazine №5. – 2004
91. Jerald, J. The VR Book. Human-Centered Design for Virtual Reality / J. Jerald. - Association for Computing Machinery and Morgan & Claypool Publishers. – 2016. – 637 p.
92. Jones, T., 100 Contemporary Fashion Designers / T. Jones. – Germany: Taschen GMBH, - 2013. – 720 p.
93. Kettley, S. Designing with Smart Textiles / S. Kettley. – Bloomsbury Academic. – 2016. – 240 p.
94. Kindle Edition. The 3D Printing Handbook: Technologies, design and applications. / Coers & Roest. – 2017. – 365 p.
95. Kitamura M. ISSEY MIYAKE / M. Kitamura. – Germany: Taschen GMBH. - 2016. – 512 p.
96. Lam Po Tang, S., Stylios, G. K. (2006) "An overview of smart technologies for clothing design and engineering", International Journal of Clothing Science and Technology, Vol. 18 Issue: 2, P.108-128

97. Lipson, H. *Fabricated: The New World of 3D Printing.* / H. Lipson, M. Kurman. - Wiley. – 2013. - 320 p.
98. Osma, G. de. *Mariano Fortuny: his Life and Work* / G. de Osma. –London: V & A Publishing. - 2015. – 337 p.
99. Pailes–Friedman, R. *Smart Textiles for Designers: Inventing the Future of Fabrics* / R. Pailes–Friedman. - London : Laurence King Publishing Ltd, - 2016. – 192 p.
100. Qiu, C. *The Review of Smart Clothing Design Research based on the Concept of 3F+1I* / C. Qiu, Y. Hu. // *International Journal of Business and Social Science* Vol. 6, No. 1; January 2015. – P. 199 – 208.
101. Quinn B. *Textile Futures (fashion, design and technology)* / B. Quinn. - Berg Publishers. – 2010. – 320 p.
102. Rogers, D. : *An Introduction to NURBS with Historical Perspective*, Morgan Kaufmann Publishers. – 2001. – 344 p.
103. Schneegass, S. *Smart Textiles: Fundamentals, Design, and Interaction* / Schneegass S., Amft O. – Switzerland : Springer; 1st ed. 2017 edition (March 1, 2017). – 396 p.
104. Seymour, S. *Fashionable Technology: The Intersection of Design, Fashion, Science, And Technology.* – Vienna: Springer. – 2008. – 249p.
105. Wang, W. *Interactive technology embedded in fashion emotional design: Case study on interactive clothing for couples* / W. Wang, Y. Fang, M. Maekawa. // *International Journal of Clothing Science and Technology* - Vol. 30 Issue: 3, – P. 302-319.
106. Yilmaz, N. *Smart Textiles: Wearable Nanotechnology* / N. Yilmaz. - Wiley-Scrivener; 1 edition (December 6, 2018). – 402 p.

#### Электронные ресурсы

107. *Аэрозольная материя: одежда из баллончика* [Электронный ресурс]. – URL: <http://meganauka.com/technologii/1083-aerazolnaya-materiya-odezhda-iz-ballonchika.html>

108. Веретельник, А. Ф. Виды шарнирных соединений в робототехнике [Электронный ресурс]. – URL: <https://studepedia.org/index.php?vol=2&post=11114>
109. Зиборева, Н.А. Изготовление тканей в Северной Европе в IX-XI веках [Электронный ресурс]. - URL: [https://www.simvolika.org/article\\_001.htm](https://www.simvolika.org/article_001.htm)
110. Каталог коллекции Кунсткамеры [Электронный ресурс]. – URL: <http://collection.kunstkamera.ru>
111. Каталог текстильного музея из Канады [Электронный ресурс]. - URL: <https://textilemuseum.ca/>
112. Каталог 3D моделей Thingiverse [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.thingiverse.com/search?q=dress&type=things&sort=relevant>
113. Киселев, В. 3D-принтеры с разной кинематикой: сравнение, плюсы и минусы [Электронный ресурс]. – URL: <https://additiv-tech.ru/publications/3d-printery-s-raznoy-kinematikoy-sravnenie-plyusy-i-minusy.html>
114. Кристальное 3D печатное платье и туфли от Айрис ванн Херпен [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.3dindustry.ru/article/3115/>
115. Лазерные станки Trotec [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.troteclaser.com/ru/oblasti-primeneniya/tekstil/>
116. Металлическая обувь «PaleoBarefoots» [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.novate.ru/>. - Загл. с экрана.
117. Моделирование методом послойного наплавления (FDM) [Электронный ресурс]. – URL: [http://3dtoday.ru/wiki/FDM\\_print/](http://3dtoday.ru/wiki/FDM_print/)
118. Напечатанное на 3d-принтере платье loom растягивается, приспособляясь к движениям тела [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.3dpulse.ru/news/odezhda-i-obuv/napechatannoe-na-3d-printere-plate-loom-rastyagivaetsya-prisposablivayas-k-dvizheniyam-tela/>
119. Осипов, Д. К истории лаптя на Руси [Электронный ресурс]. - URL: <https://www.nkj.ru/archive/articles/9322/>
120. Стереолитография (SLA) [Электронный ресурс]. – URL: [http://3dtoday.ru/wiki/SLA\\_print/](http://3dtoday.ru/wiki/SLA_print/)

121. Текстильная плиссировочная машина DJ-217 [Электронный ресурс]. – URL: <http://realchinese.tiu.ru/p40488713-tekstilnaya-plissirovochnaya-mashina.html>
122. Технологии быстрого прототипирования. – Институт проблем лазерных и информационных технологий Российской академии наук [Электронный ресурс]. – URL: [www.laser.ru/rapid/index.htm](http://www.laser.ru/rapid/index.htm)
123. Фрагментированная одежда [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.novate.ru/blogs/221014/28247/>.
124. Чаликова Д. Валенки русские/ Наука и жизнь №12, 2005 [Электронный ресурс]. - URL: <http://www.nkj.ru/archive/articles/3161/>
125. British origami society, Lister,D. Tessellations [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.britishorigami.infoacademic/lister/tessel>
126. Dagliden, J. Suzanne Lee: we will grow our clothes in the future [Электронный ресурс] / - Режим доступа: <https://www.lsnglobal.com/>
127. Danit Peleg [Электронный ресурс] / Сайт дизайнера. – <https://danitpeleg.com/>
128. Diana Nagorna [Электронный ресурс] / Сайт дизайнера. – URL: <http://diananagorna.com/>
129. Diana Scherer [Электронный ресурс] / Сайт дизайнера. – URL: <http://dianascherer.nl/>
130. Issey Miyake [Электронный ресурс] / Сайт бренда. – URL: [http://www.isseymiyake.com/en/brands/132\\_5.html](http://www.isseymiyake.com/en/brands/132_5.html)
131. Lisa Shahno [Электронный ресурс] / Сайт дизайнера. – URL: <http://lisashahno.com/the-iteration-2012/>
132. Make human community [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.makehumancommunity.org/content/downloads.html>
133. Ministry of Supple / Сайт бренда. – URL: <https://www.ministryofsupply.com>
134. Nervous System [Электронный ресурс]. – URL: <https://n-e-r-v-o-u-s.com/projects/sets/kinematics-dress/>
135. Openknit [Электронный ресурс]. – URL: <https://openknit.org/>

136. Rowley, A. Electroloom Blog [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.electroloom.com/>
137. Shimaseiki [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.shimaseiki.ru/>
138. Sigalit Landau [Электронный ресурс] / Сайт дизайнера. – URL: <https://www.sigalitlandau.com/>
139. Sinterit Provides SLS 3D Printed Costume for Beijing Opera at Royal College of Art [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.3dprintingmedia.network/sinterit-provides-sls-3d-printed-costume-beijing-opera-royal-college-art/>
140. Stevenson, K. Design Of The Week: Flexible Clothes [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.fabbaloo.com/blog/2018/11/19/design-of-the-week-flexible-clothes>
141. Stevenson, K. Major Development In 3D Printed Fabric [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.fabbaloo.com/blog/2020/8/31/susana-marquess-3d-printed-fashions-part-2>
142. Stevenson, K. Susana Marques's Journey To Real 3D Printed Fashions [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.fabbaloo.com/blog/2020/8/31/susana-marquess-3d-printed-fashions-part-2>
143. ST-229L автомат «гофрирования» бумаги [Электронный ресурс]. – URL: <http://otk-servis.uaprom.net/p5192729-229l-avtomat-gofrirovaniya.html>
144. Teslasuit. Ultimate tech in Smart Clothing [Электронный ресурс]. - URL: <https://teslasuit.io>
145. Warp &Welf – Cifra & Tefron in Seamless Partnership [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.innovationintextiles.com/warp-weft-cifra-tefron-in-seamless-partnership/>
146. Yohji Yamamoto [Электронный ресурс] / Сайт бренда. – URL: <https://www.yohjiyamamoto.co.jp/collection/>

## ПРИЛОЖЕНИЕ 1



Рис. П.1.1 – Соломенный плащ «мино» из сухих стеблей травянистых растений, вторая половина XIX века



Рис. П.1.2 – Юбка, выполненная из растительных волокон, вторая половина XIX века. Музей Текстиля Канады (Textile Museum of Canada TMC)



Рис. П.1.3 – Одежда индонезийцев из пальмовых волокон, первая половина XX века: (а) пелерина; (б) плащ. Музей Текстиля Канады (Textile Museum of Canada TMC)

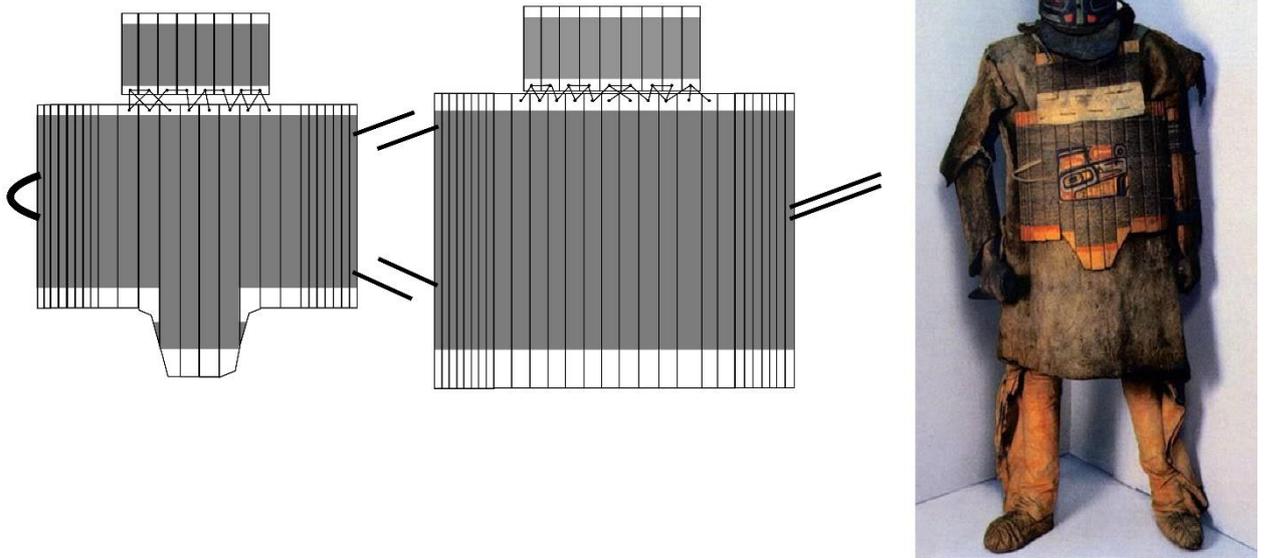


Рис. П.1.4 – Конструкция боевого доспеха-панциря тлинкитов, начало XIX века



а

б

в

Рис. П.1.5 – Образцы одежды из тапы: (а) пояс, время создания до 1884 г.; (б) рубаха, начало XX века; (в) рубаха, время создания до 1828 г. Музей Текстиля Канады (Textile Museum of Canada TMC)



Рис. П.1.6 – Плечевые и поясные накидки из выделанной кожи. Эпоха палеолита.



Рис. П.1.7 – Рубаха и платье индейцев Северной Америки XVIII–XIV веков из выкроенной кожи. Текстильный музей Канады (Textile Museum of Canada)



Рис. П.1.8 – Костюм индейцев конца XIX – начала XX века. Музей антропологии и этнографии им. Петра Великого (Кунсткамера) Российской академии наук



Рис. П.1.9 – Плащ ахуула, изготовленный путем плетения из нитей древесных волокон в виде сети, XVII век. Музей антропологии и этнографии им. Петра Великого (Кунсткамера) Российской академии наук



Рис. П.1.10 – Конструкция панциря микронезийцев, время создания до XX века. Музей антропологии и этнографии им. Петра Великого (Кунсткамера) Российской академии наук



Рис. П.1.11 – Одежда микронезийцев, выполненная по технологии плетения из скрученных растительных волокон, XIX век. Музей антропологии и этнографии им. Петра Великого (Кунсткамера) Российской академии наук

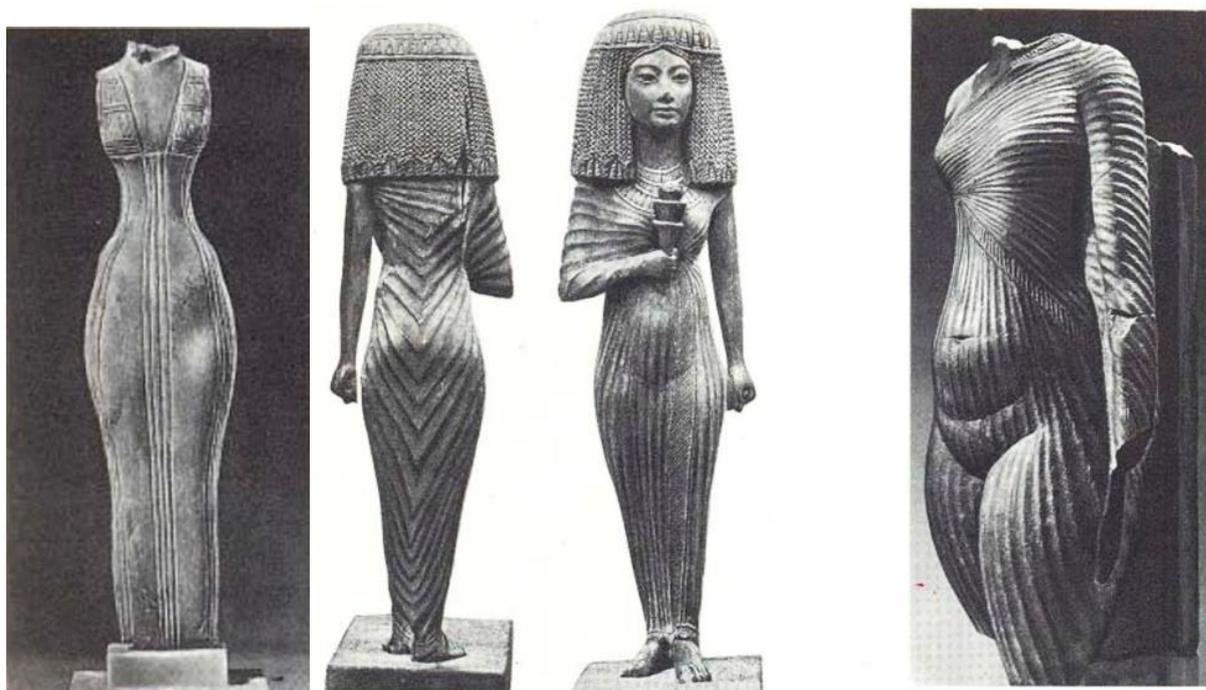


Рис. П.1.12 – Бесшовная облегающая одежда, обертывающая фигуру одним куском ткани. Исторический женский костюм Древнего Египта калазирис (XIV в. до н.э.). Облегание фигуры достигается за счет закладывания складок на ткани

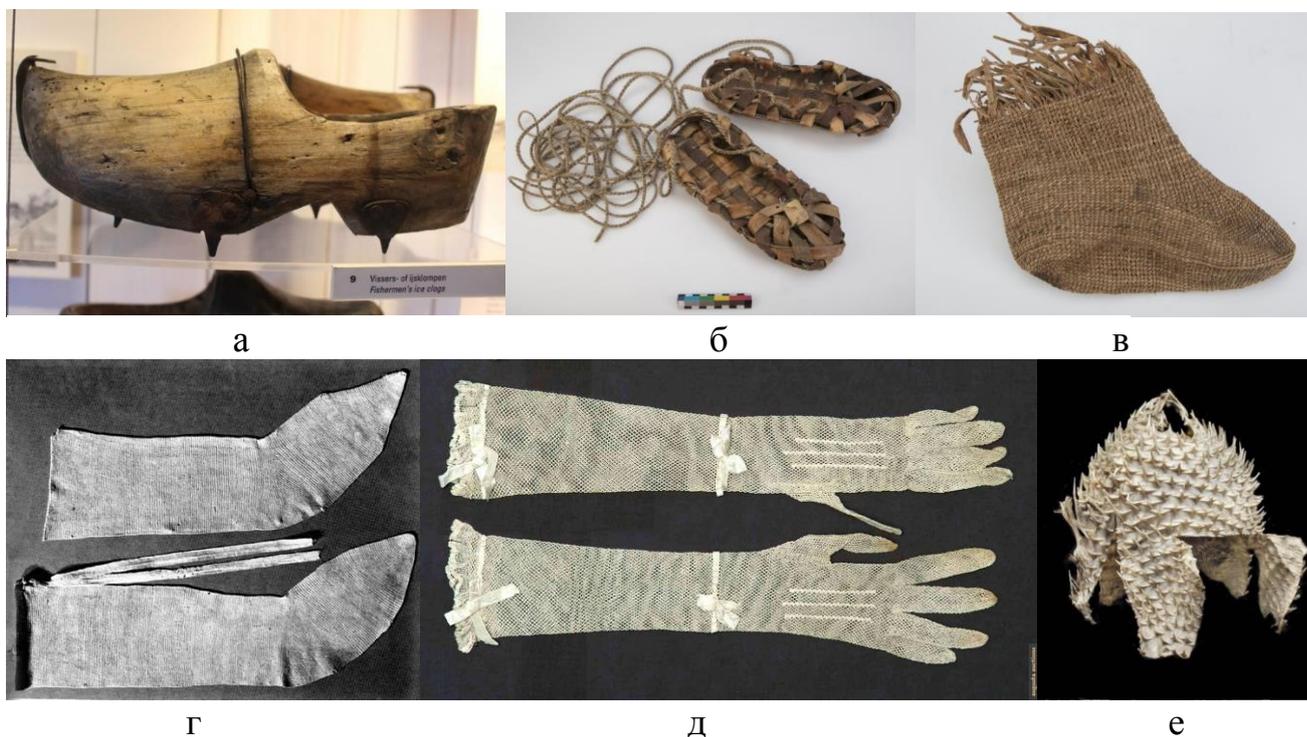


Рис. П.1.13 – Трехмерные элементы костюма: (а) обувь из дерева – кломпы (появились в XII веке), (б) плетеная обувь, начало XX века; (в) плетеные носки, начало XX века; (г) реконструированные вязаные чулки XII века; (д) шелковые вязаные перчатки первой половины XVIII века; (е) шлем маршалцев, созданный до 1885 года из рыбы-шара



а



б



в

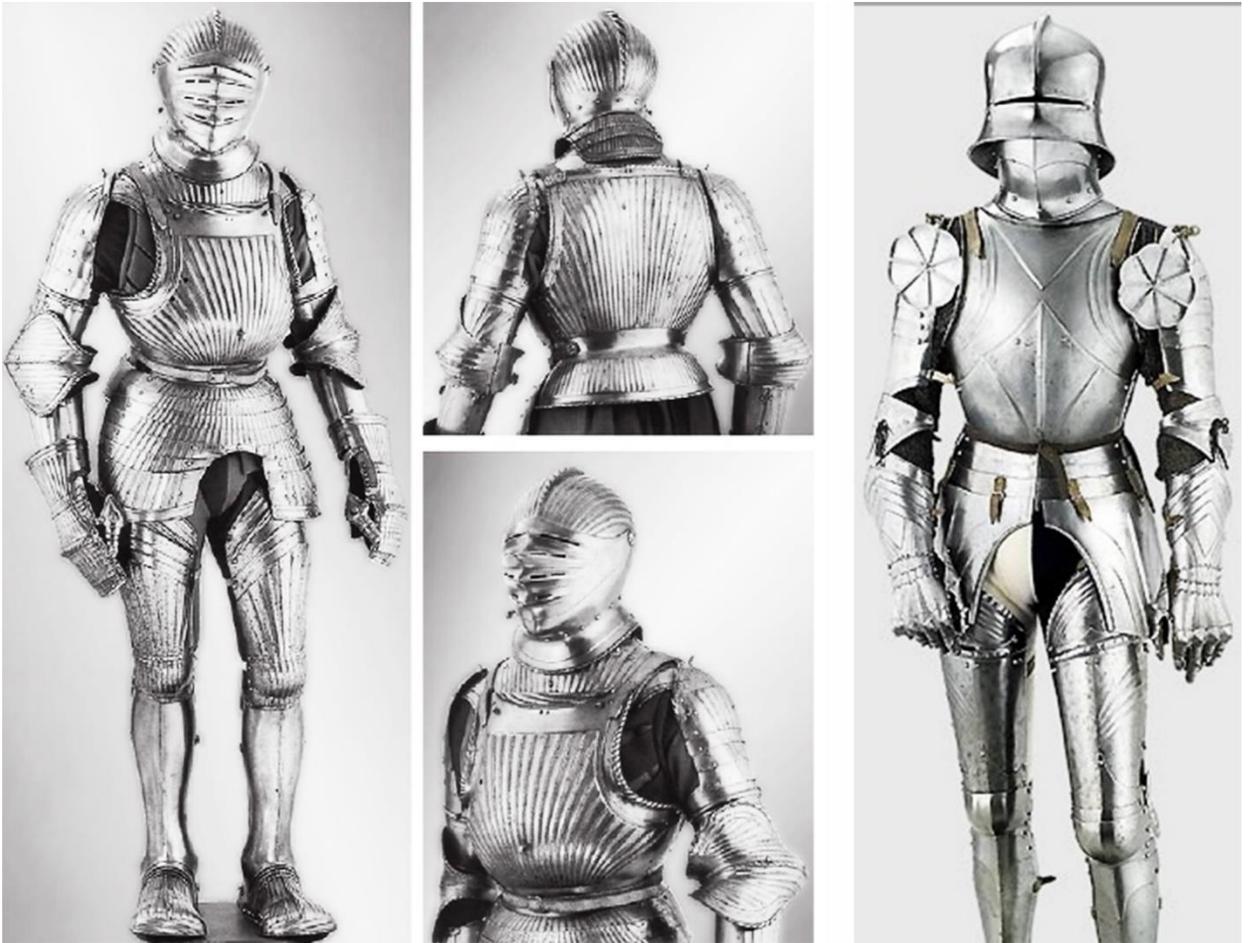


г

Рис. П.1.14 – Трехмерные формы защитной одежды: (а) кольчатый доспех, дагестанская кольчуга XVII – начало XIX века; (б) европейский кольчато-пластинчатый доспех «бахтерец», XVI век; (в) кольчато-пластинчатый доспех калантарь XV–XVI вв.; (г) кольчато-пластинчатый доспех юшман, XVI век



а



б

в

Рис. П.1.15 – Бесшовный метод организации костюма – ковка. Трехмерные формы защитной одежды: (а) греческие доспехи для защиты торса. V–IV в. до н. э.; (б) максимилиановский доспех XVI век; (в) готический доспех, XV век



Рис. П.1.16 – Бесшовные прессованные топы: (а) автор Александр МакКуин, 1999 г.; (б) бренд Chloe, 2011 г.



Рис. П.1.17 – Бесшовная трехмерная одежда из войлока. Автор: Джузефу Тимистэ (Joshephus Thimister), 2011 г.



Рис. П.1.18 – Цельновязаная одежда, 2012 г. Технология: трехмерное вязание WHOLEGARMENT: (а) автор: Риота Дано (Ryota Danno); (б) автор: Юя Наката (Yuuya Nakata`s); (в) автор: Татсуя Тамадо (Tatsuya Tamado)



Рис. П.1.19 – Трикотажная бесшовная одежда. Технология: основовязальное бесшовное производство. Фирма: Cifra, 2011 г.

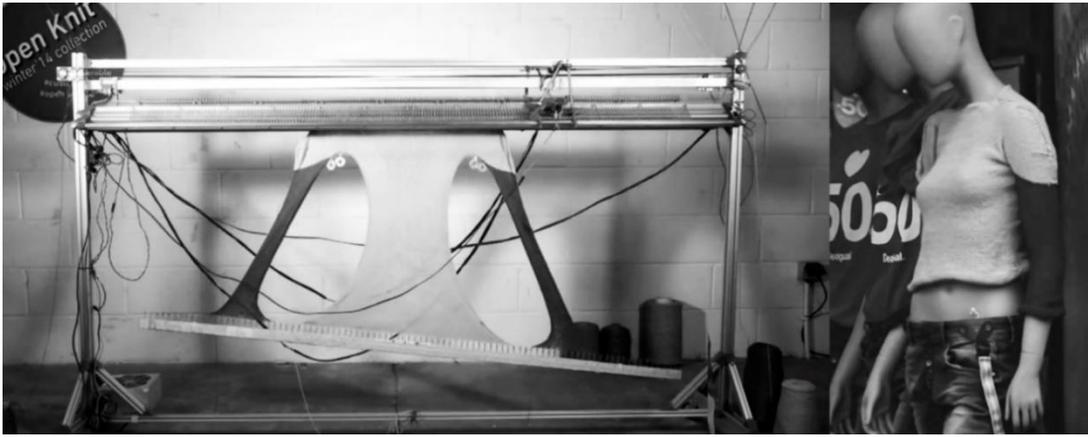


Рис. П.1.20 – Технология трехмерного формообразования костюма на основе интеграции печатного плоттера и вязальной машины: устройство Open Knit и пример изготовленного изделия, 2014 г.



Рис. П.1.21 – Технология трехмерного формообразования костюма на основе интеграции печатного плоттера и вязальной машины: устройство и пример изготовленного изделия. Компания: Ministry of Supply, 2016 г.

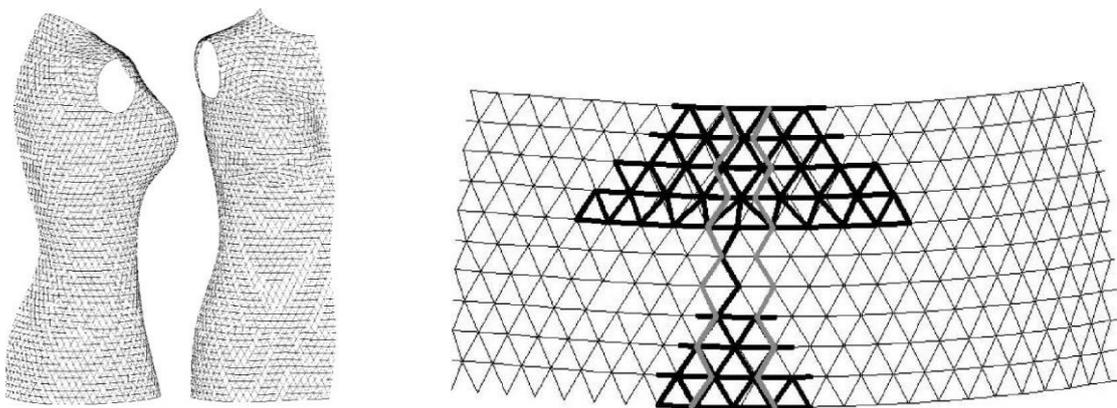


Рис. П.1.22 – Схема триаксиальной сети. Технология проектирования трехмерных малошовных текстильных изделий. Автор: Лаврис Е. В., 2005 г.



Рис. П.1.23 – Одежда бренда «Расо Rabanne» Автор: Маниш Арора, 2012 г.



Рис. П.1.24 – Использование технологии кольчужного плетения в коллекции Ив Сэн Лоран, 2012 г.



Рис. П.1.25 – Современные кольчужные перчатки. Российская компания «Партнер», 2010 г.



Рис. П.1.26 – Обувь «Paleo Barefoots», изготовленная по технологии кольчужного плетения. Компания «GoSt-Barefoots», 2013 г.

## ПРИЛОЖЕНИЕ 2



Рис. П.2.1 – Преобразование плоского материала в объемную структуру костюма путем применения внутренней разрезной структуры, линейной и точечной системы фиксации. Бренд Issey Miyake: «132.5», серия «SPIRAL ZIP» 2011–2012 гг.

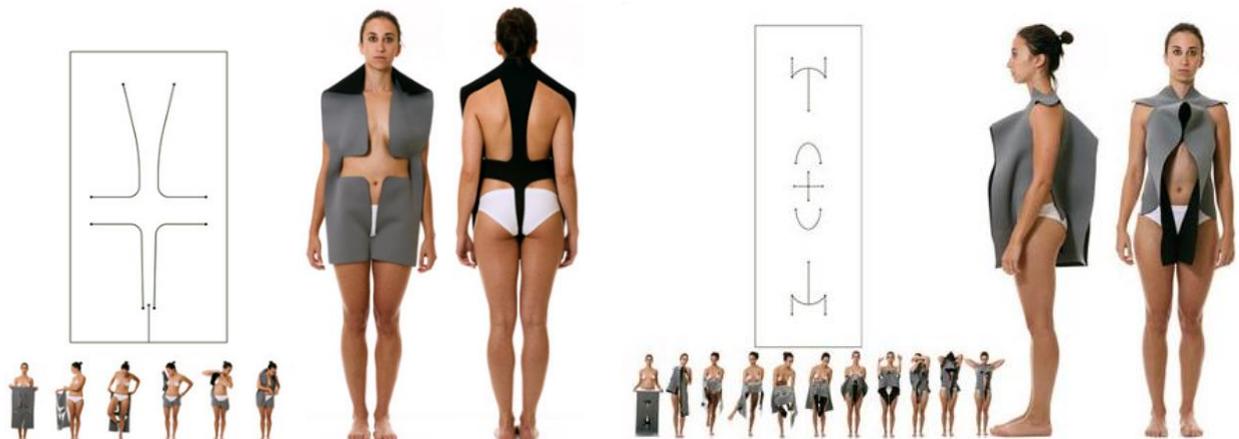


Рис. П.2.2 – Разрезная структура костюмов с элементами внутренних прорезей. Автор: Иджак Эбикейсис, 2011 г.



Рис. П.2.3 – Бесшовные костюмы на основе складчатых и разрезных структур: (а) автор: Андреа Джапен Ли, 2015 г.; (б) автор: Йоджи Ямамото, 1996 г.; (в) автор: Дик Кайек, 2014 г.



Рис. П.2.4 – Бесшовные костюмы на основе формообразующего способа стягивания пластичной основы: (а) Mugler, 2018 г.; (б) Richard Malone, 2020 г.; (в) Christian Siriano, 2019 г.

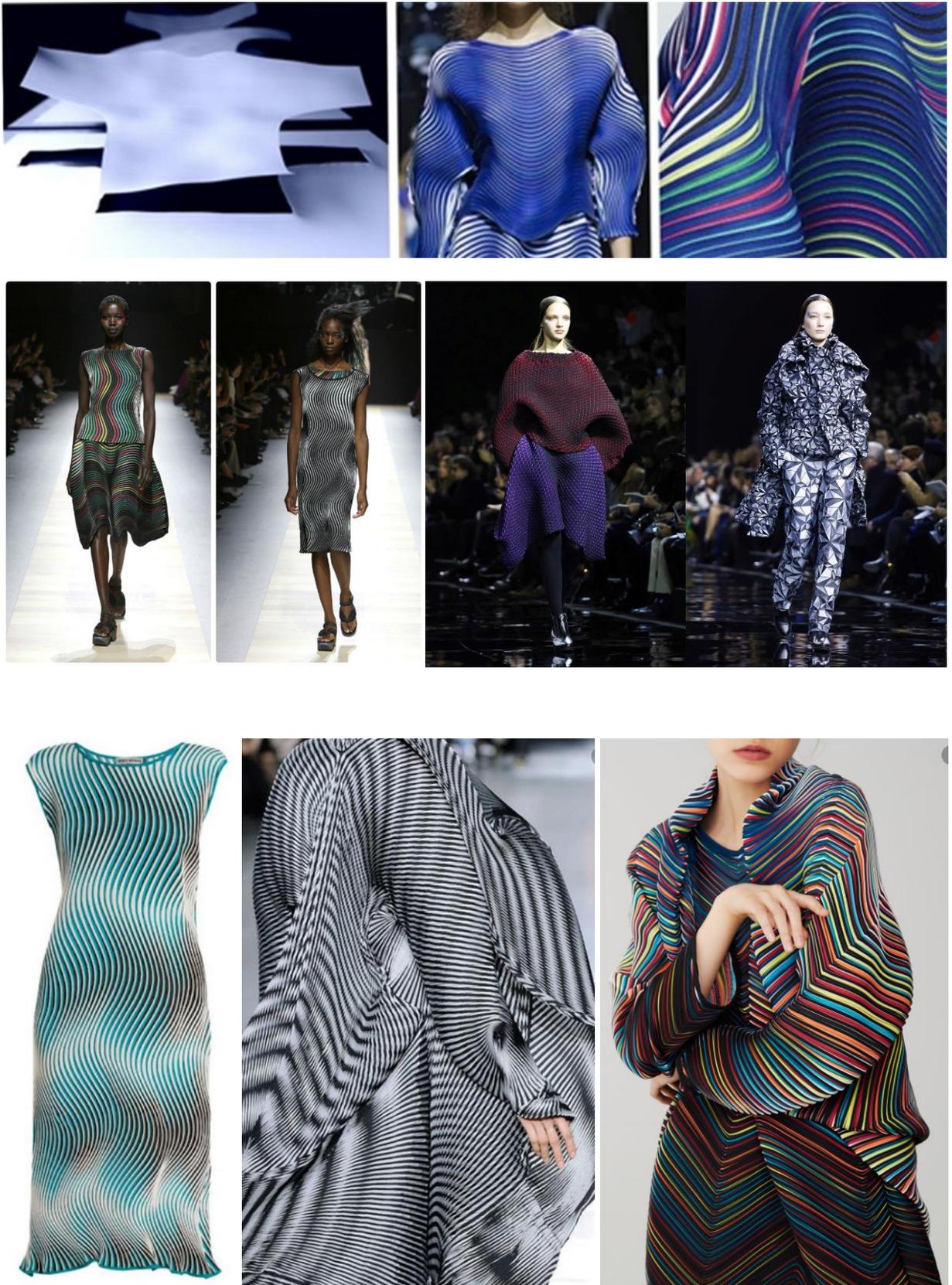


Рис. П.2.5 – Костюмы с формированными складками путем растяжения по заданным векторным линиям. Бренд Issey Miyake, 2016 г.

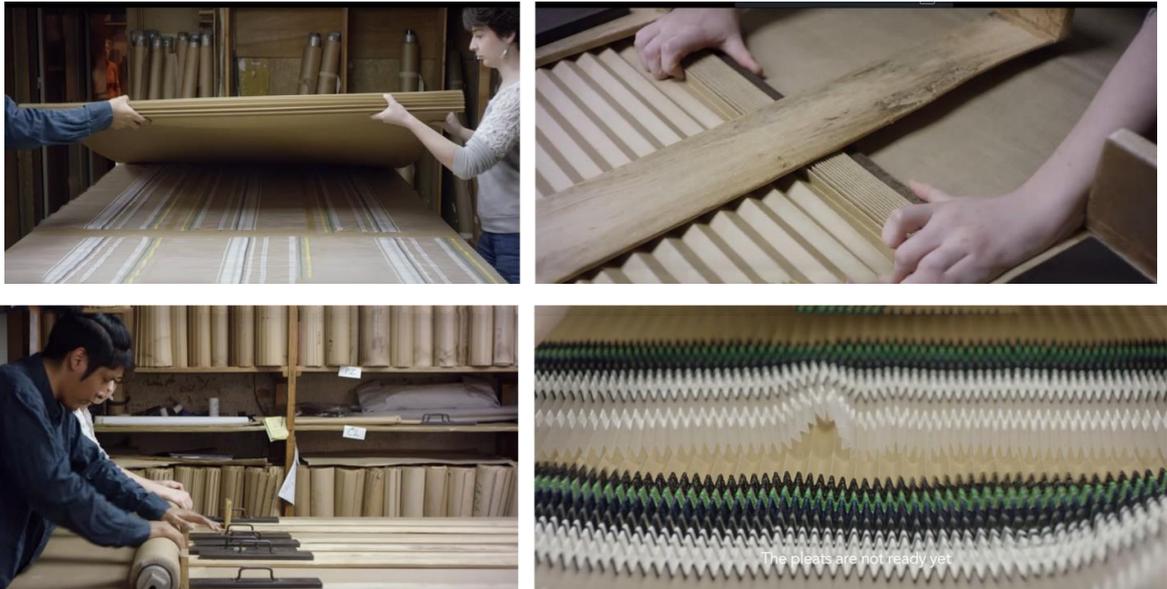


Рис. П.2.6 – Процесс изготовления складок «гофре». Бренд: Dior, 2015 г.



Рис. П.2.7 – Автоматизированная гофрировочная машина ST 229L



Рис. П.2.8 – Многофункциональная текстильная плиссировочная машина DJ-217 и виды вырабатываемых складок

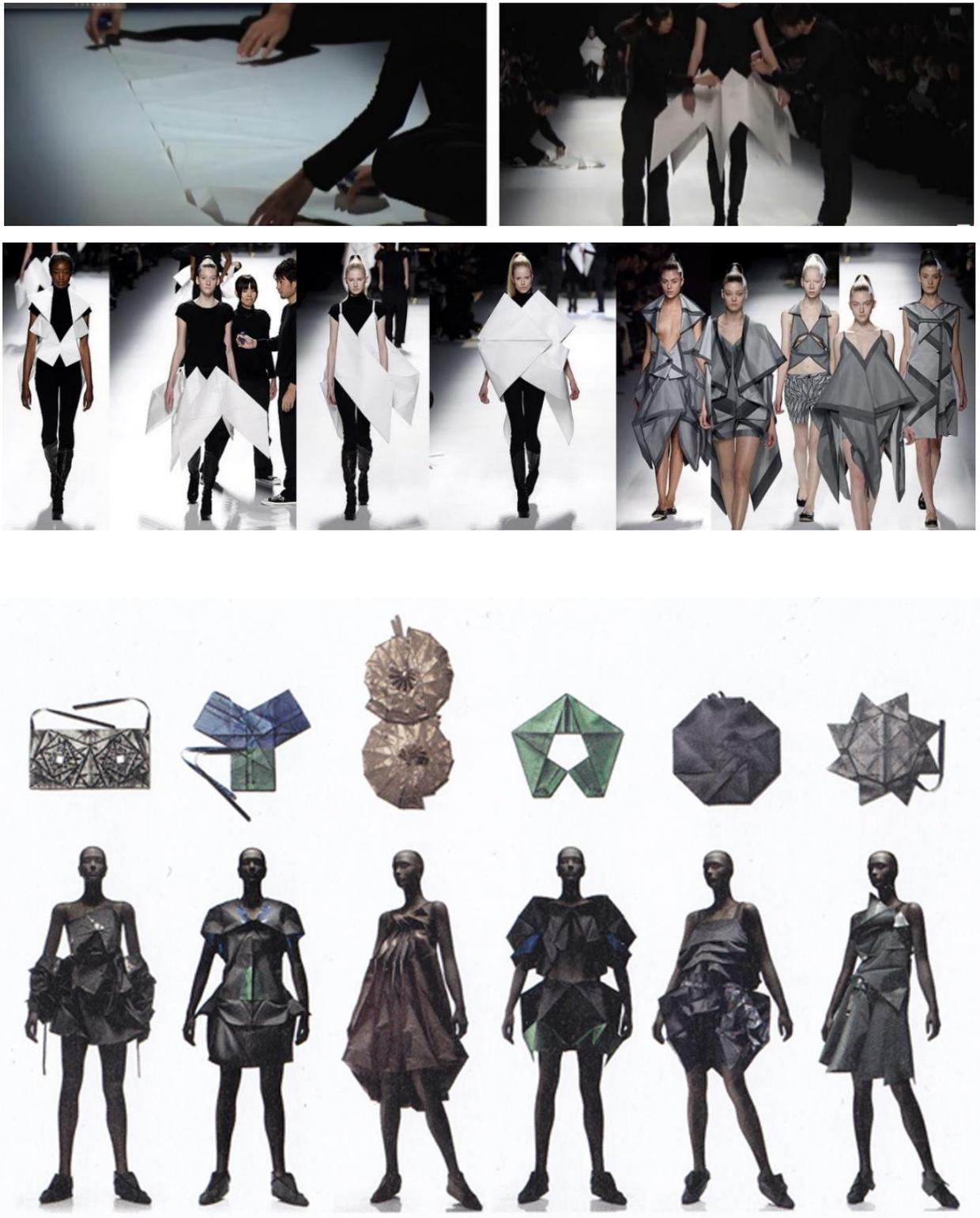
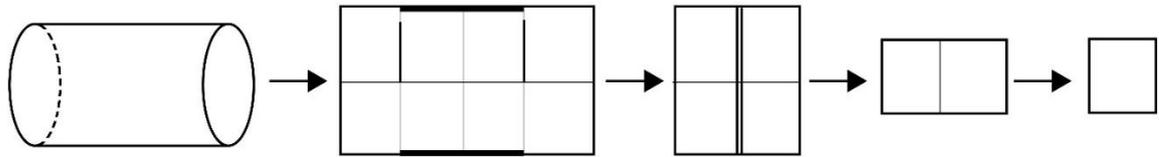


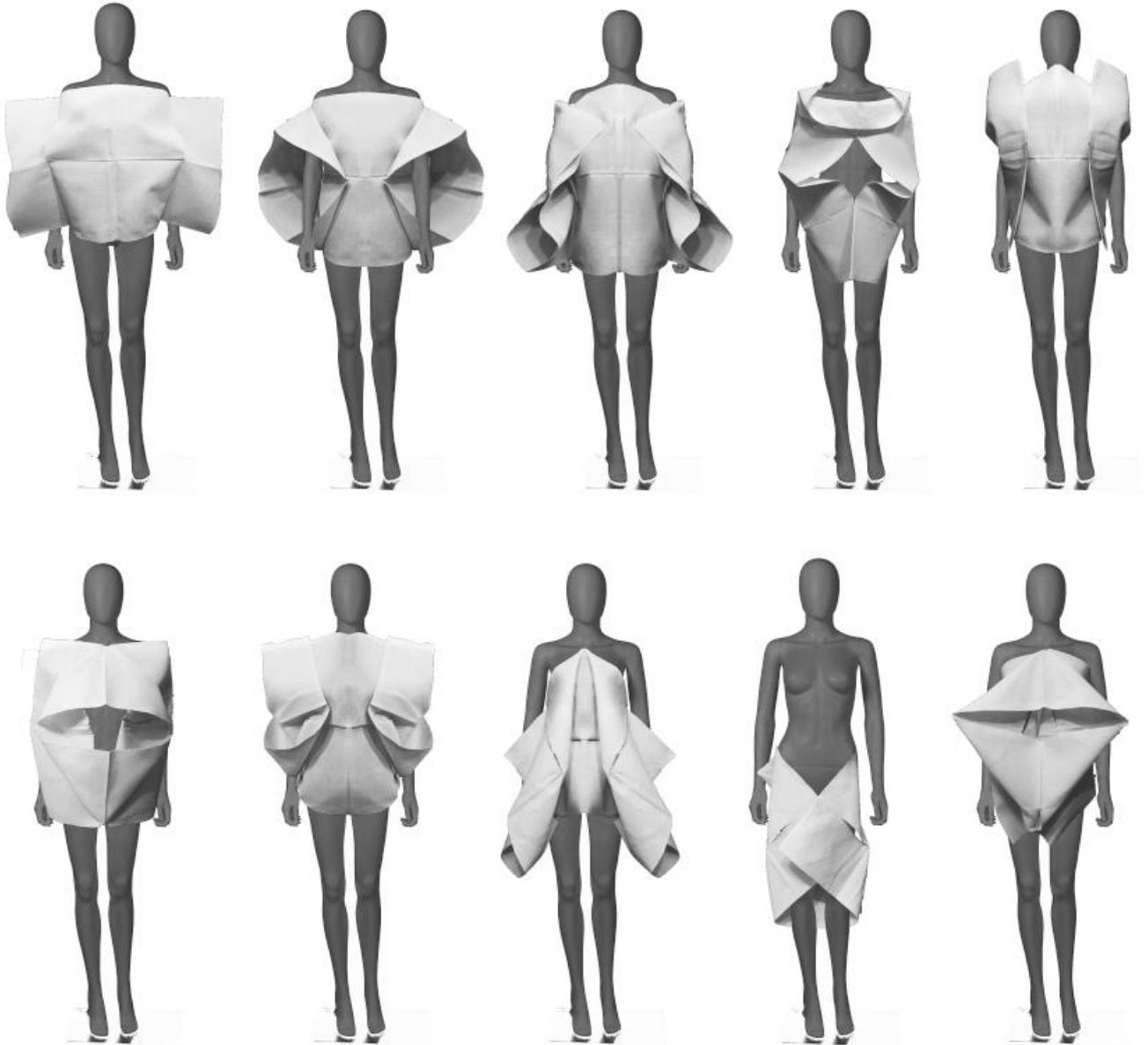
Рис. П.2.9 – Преобразование плоскости в объемную структуру костюма. Лейбл бренда Issey Miyake: «132.5», 2011–2012 гг.



Рис. П.2.10 – Формообразование трехмерной оболочки костюма по принципу трансформации пластичной основы. Трехмерное объемно-пространственное складывание с элементами внутренних прорезей. Коллекция «The Iteration. Автор: Лиза Шахно, 2012 г.

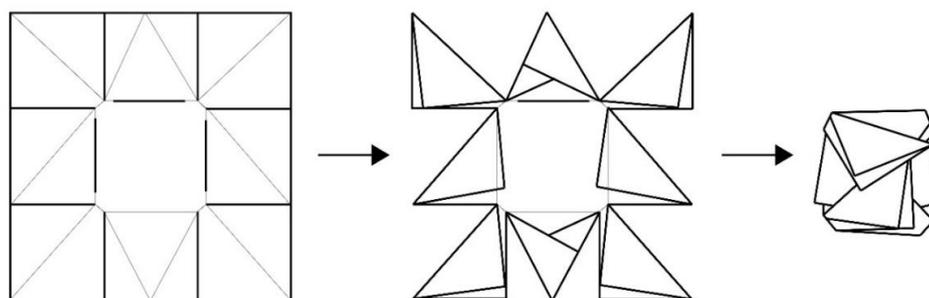


а

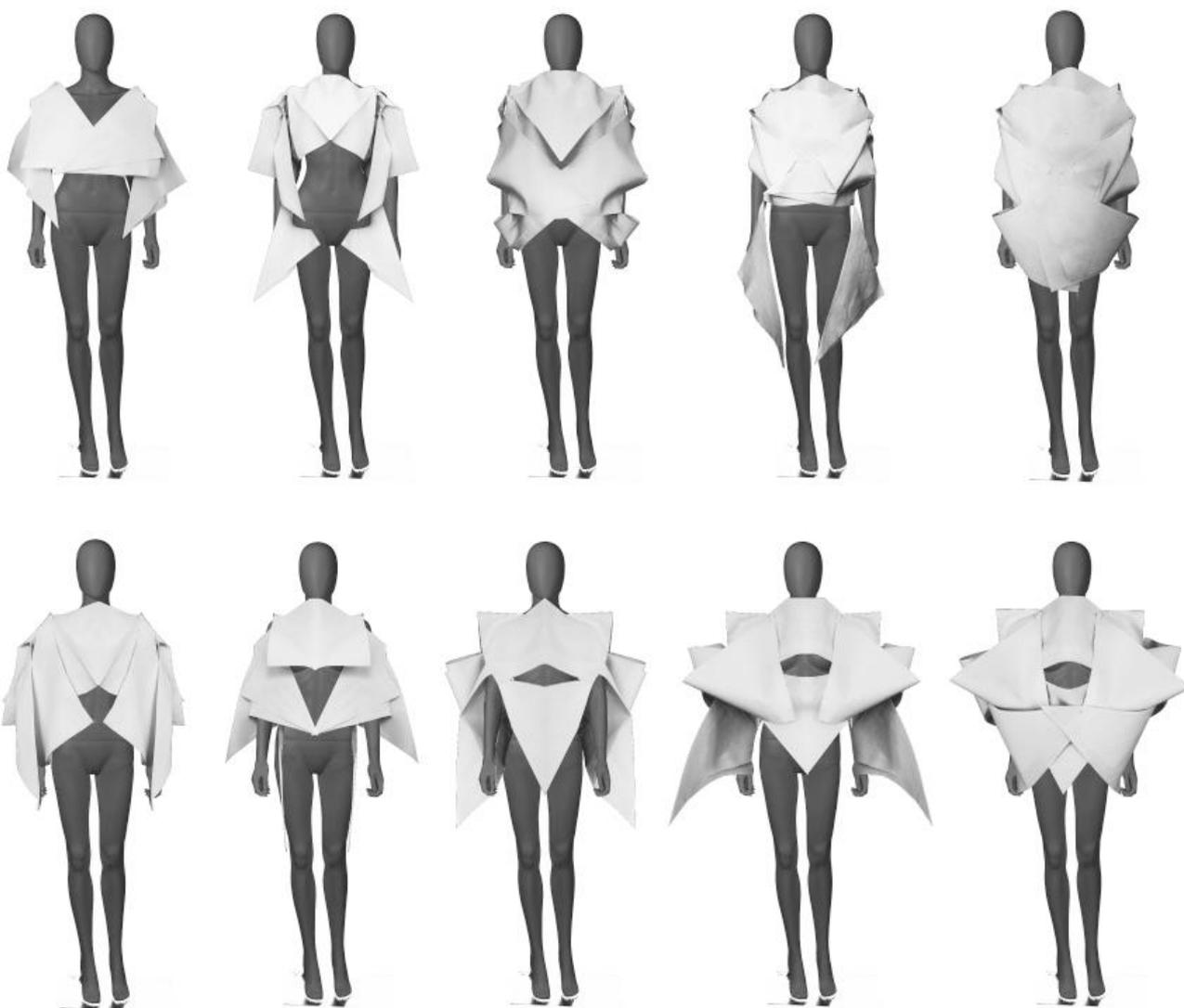


б

Рис. П.2.11 – Практическая апробация исследования принципов трансформации и деформации пластичной основы. Разработка трансформируемого модуля одежды на основе цилиндра: (а) система внутренних прорезей трубчатой пластичной основы, траектории линий сгиба, процесс складывания трансформируемого цилиндрического модуля; (б) варианты трансформации одежды



а



б

Рис. П.2.12 – Практическая апробация исследования принципов трансформации и деформации пластичной основы. Разработка трансформируемого модуля одежды на основе квадрата: (а) система внешних и внутренних прорезей плоской пластичной основы, траектории линий сгиба. Процесс складывания трансформируемого квадратного модуля; (б) варианты трансформации одежды.

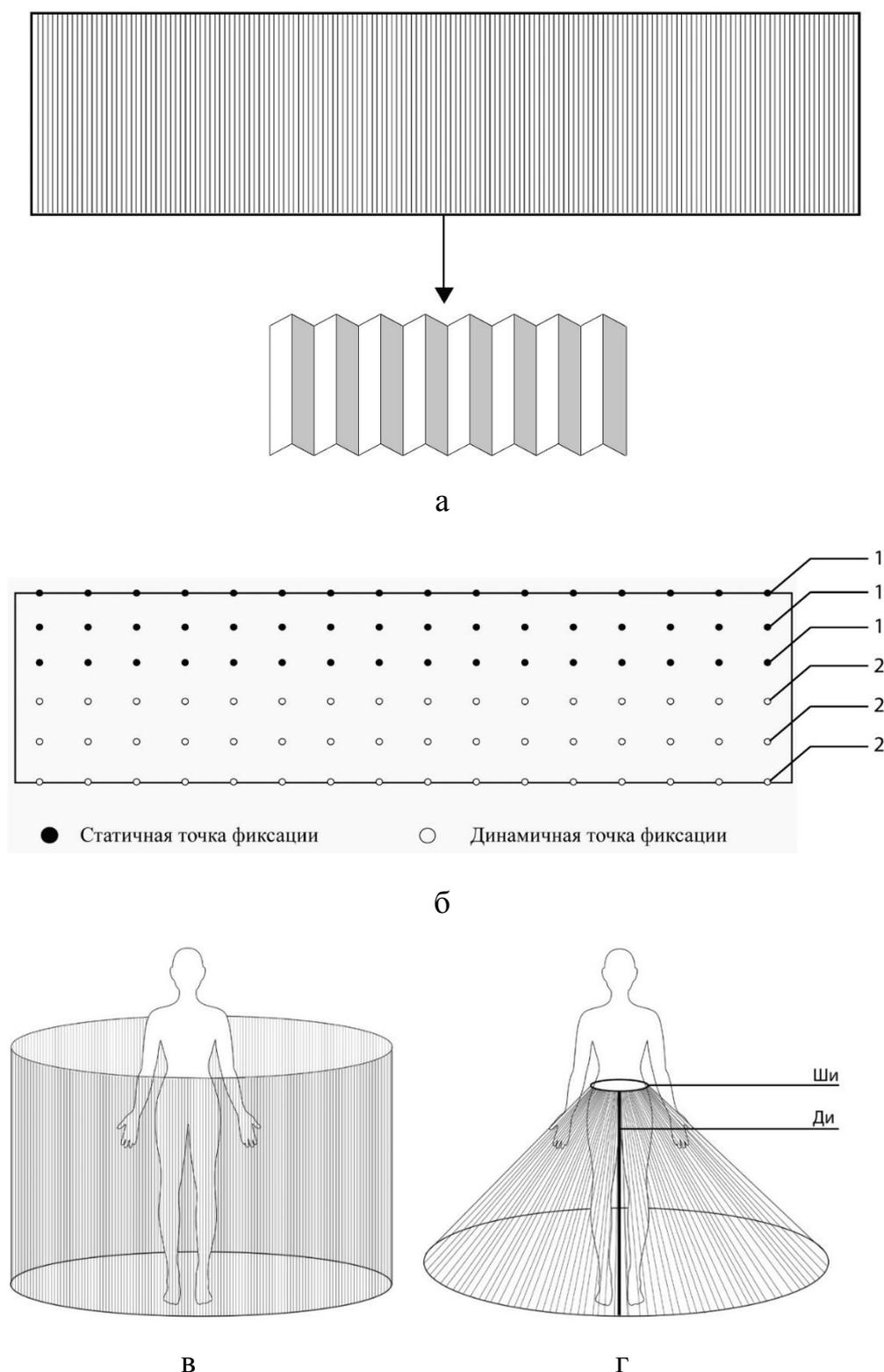
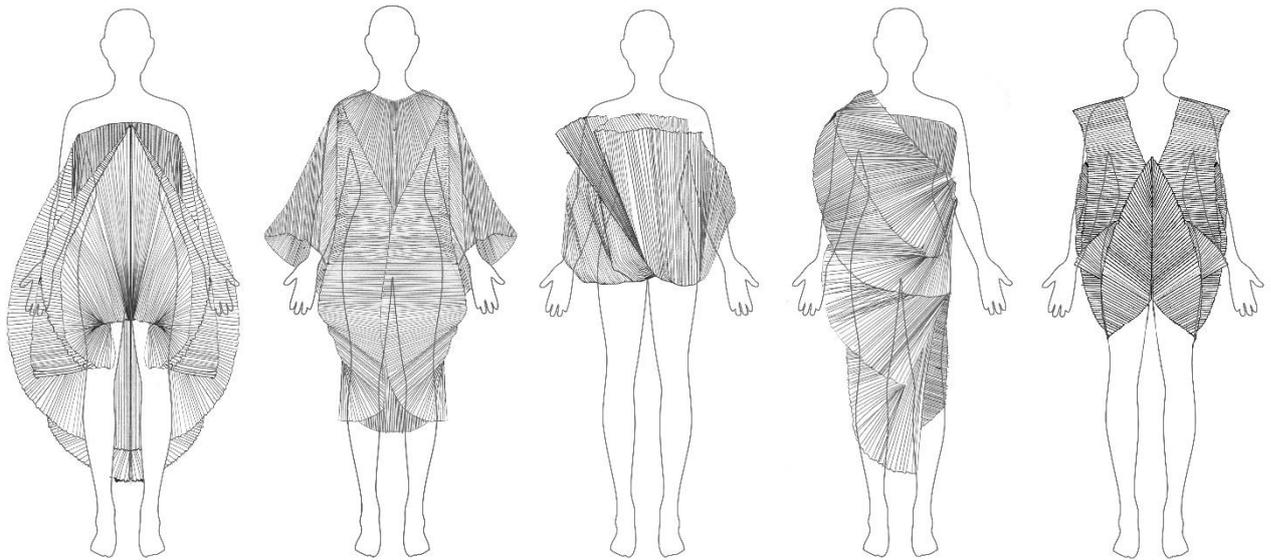


Рис. П.2.13 – Практическая апробация исследования принципов трансформации и деформации пластичной основы. Разработка трансформируемого модуля одежды на основе прямоугольника: (а) прямоугольный модуль одежды, имеющий складки типа гофре; (б) система фиксации, состоящая из статичных и динамичных точек фиксации: (1) – статичная точка фиксации; (2) – динамичная точка фиксации; (в, г) принцип фиксации прямоугольного складчатого модуля одежды на фигуре человека



а



б

Рис. П.2.14 – Практическая апробация исследования принципов трансформации и деформации пластичной основы. Разработка трансформируемого модуля одежды на основе прямоугольника: (а) эскизная графика; (б) выполнение в материале

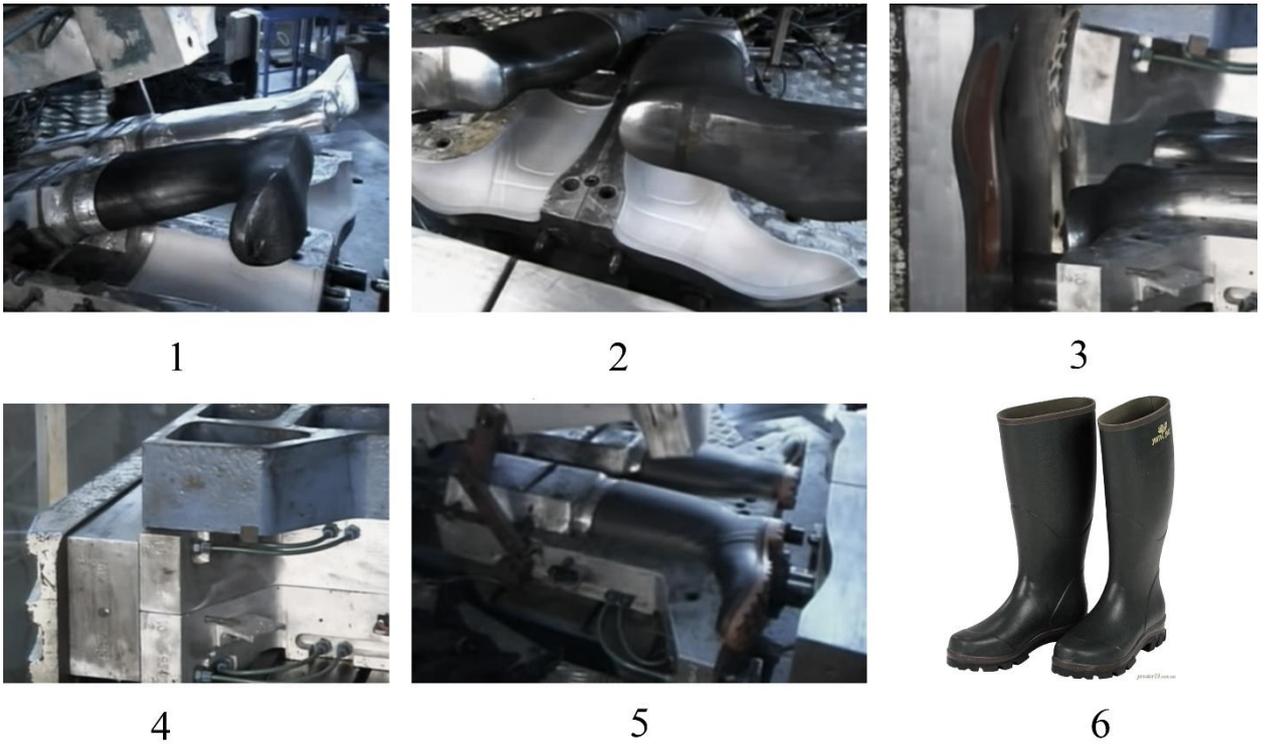


Рис. П.2.15 – Бесшовное формообразование обуви. Метод формования под давлением пуансона и вулканизации, 2005 г.



Рис. П.2.16 – Бесшовное формообразование перчаток. Метод формования путем опускания заготовки в жидкий латекс, 2006 г.



Рис. П.2.17 – Биотехнология проектирования одежды: кристаллизация соли на заданной поверхности. Автор: Сигалит Ландау, 2014 г.



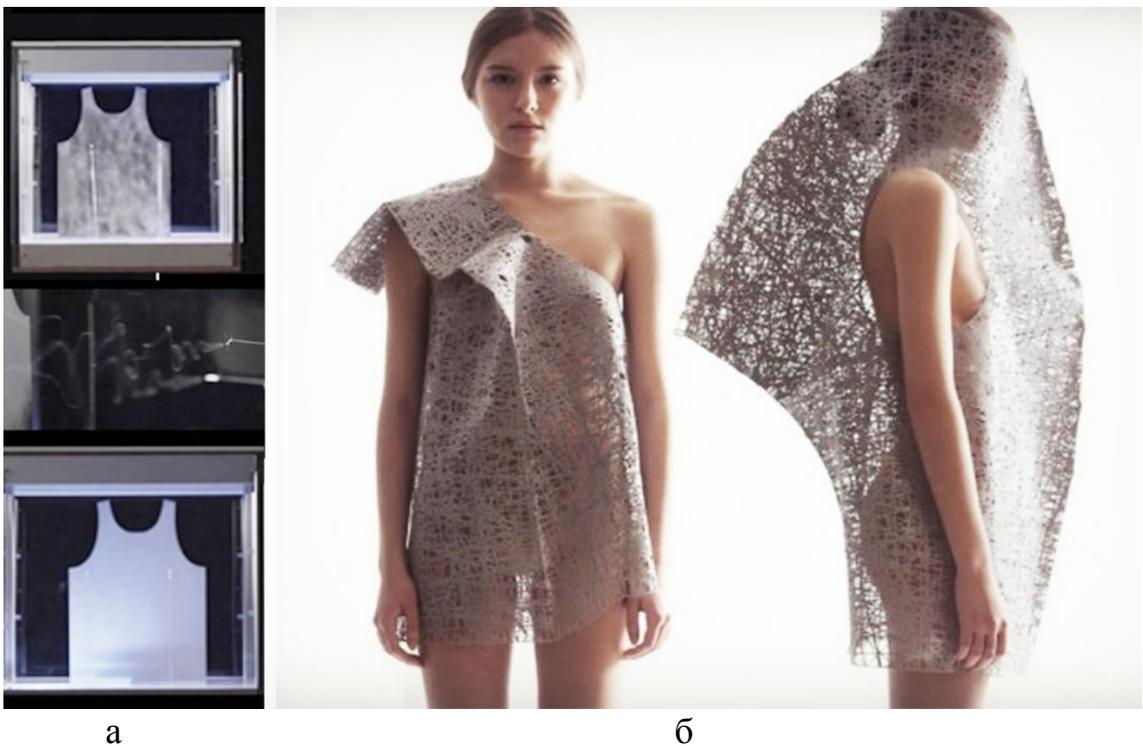
Рис. П.2.18 – Биотехнология проектирования одежды: наращивание корней на заданную форму. Автор: Диана Шерер, 2018 г.



Рис. П.2.19 – Технология трехмерного проектирования одежды, заключающаяся в выращивании материала из бактерий и его формования на заданной основе. Автор технологии Сьюзан Ли, 2011 г.



Рис. П.2.20 – Технология трехмерного проектирования одежды Spray on.  
Автор: Маниэль Торресс, 2010 г.



а

б

Рис. П.2.21 – (а) технологические этапы трехмерной печати текстильной одежды; (б) пример костюма. Фирма Electroloom, 2014 г.



Рис. П.2.22 – Бесшовные структуры костюма. Технологии модульного проектирования. Автор: Матия Коп, 2012 г.



Рис. П.2.23 – Технология модульного формообразования бесшовной оболочковой структуры, где модули соединяются непосредственно между собой. Авторы: Фион ван Балгой, Бербер Соупбор, 2008 г.



Рис. П.2.24 – Аддитивная технология формообразования одежды (FDM).  
Автор: Френсис Битонти, 2013 г.



Рис. П.2.25 – Аддитивная технология формообразования одежды (FDM).  
Автор: Данит Пелег, 2015–2016 гг.



Рис. П.2.26 – Аддитивная технология формообразования одежды (FDM).  
Автор: Милинич-Богданович, 2018 г.

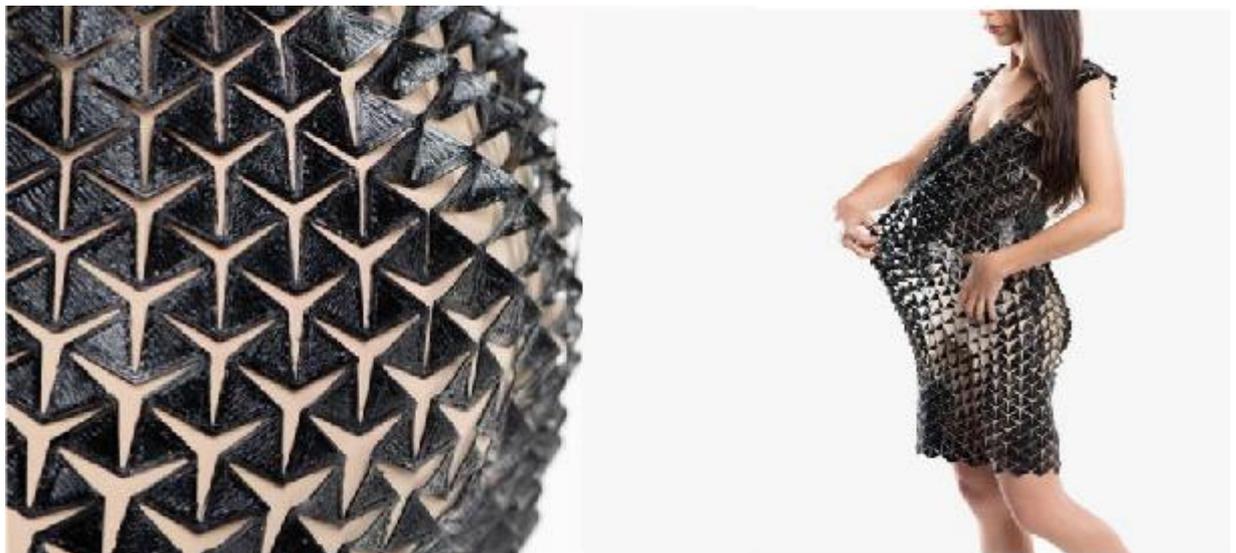


Рис. П.2.27 – Аддитивная технология формообразования одежды (FDM).  
Автор: Мария Алехандра Мора-Санчес, 2017 г.

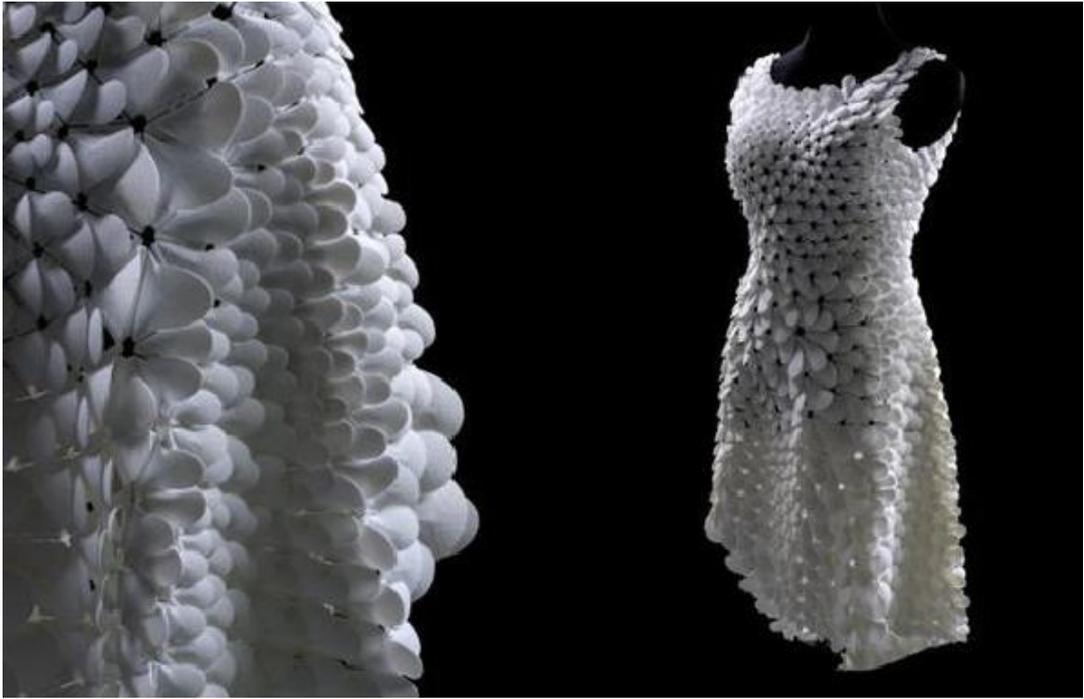


Рис. П.2.28 – Аддитивная технология формообразования одежды (SLS).  
Студия дизайна Nervous System, 2014 г.



Рис. П.2.29 – Аддитивная технология формообразования одежды (SLS).  
Авторы: Минджинг Лин, Цай-Чун Хуан, 2017 г.



Рис. П.2.30 – Аддитивная технология формообразования одежды (SLA).  
 Авторы: Ирис ван Харпен, 2011–2016 гг.



Рис. П.2.31 – Аддитивная технология формообразования одежды (MJ).  
 Лейбл: threeASFOUR, 2016 г.

## ПРИЛОЖЕНИЕ 3

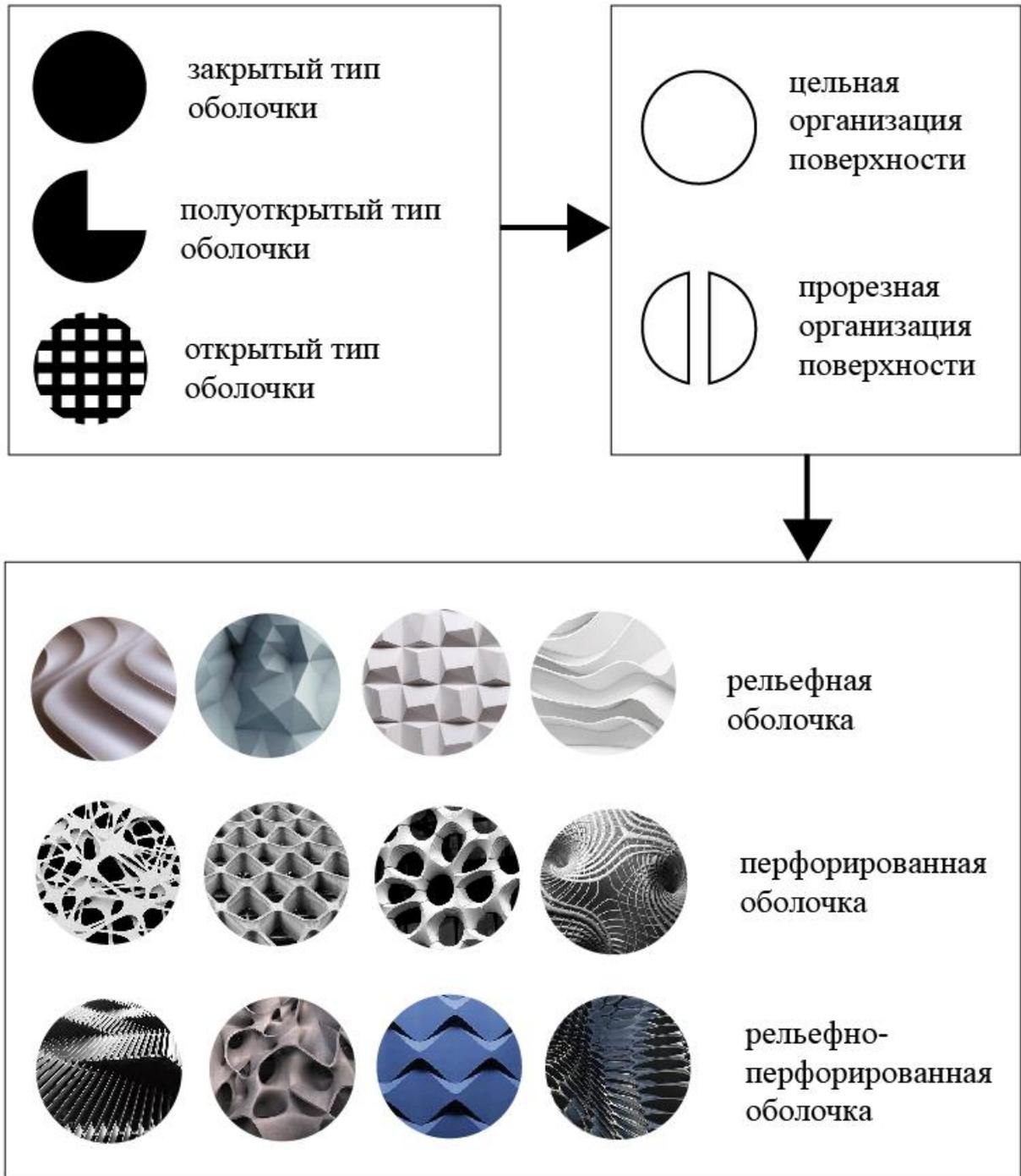


Рис. П 3.1 – Выявление тектонических характеристик монолитной структуры костюма

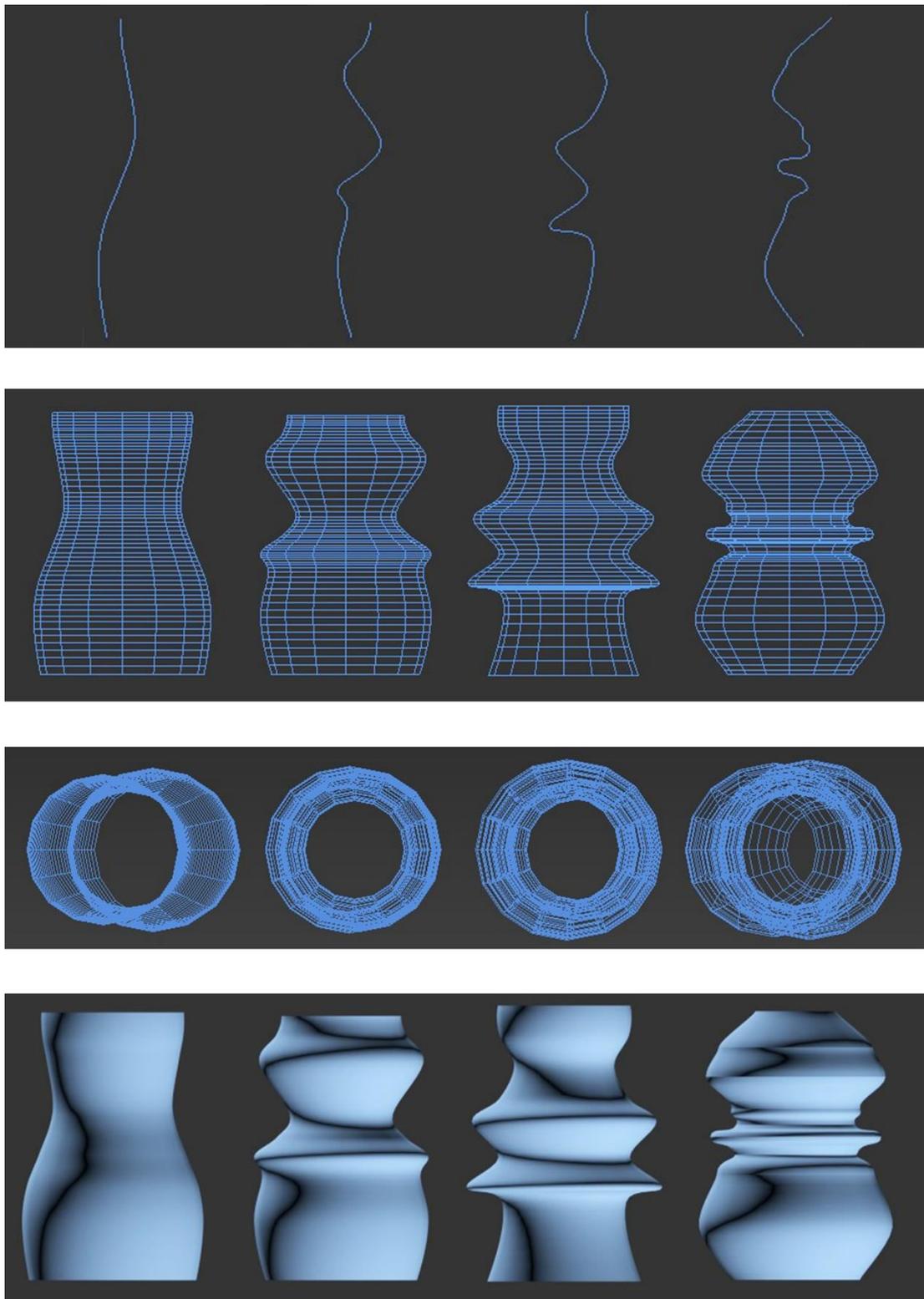


Рис. П.3.2 – Практическая апробация 3D-моделирования монолитной формы одежды на основе FDM-печати в ПО Autodesk 3ds Max. Демонстрация вариантов создания первичной оболочки костюма без плечевого выделения способом сплайнового моделирования путем итерации кривой по оси X

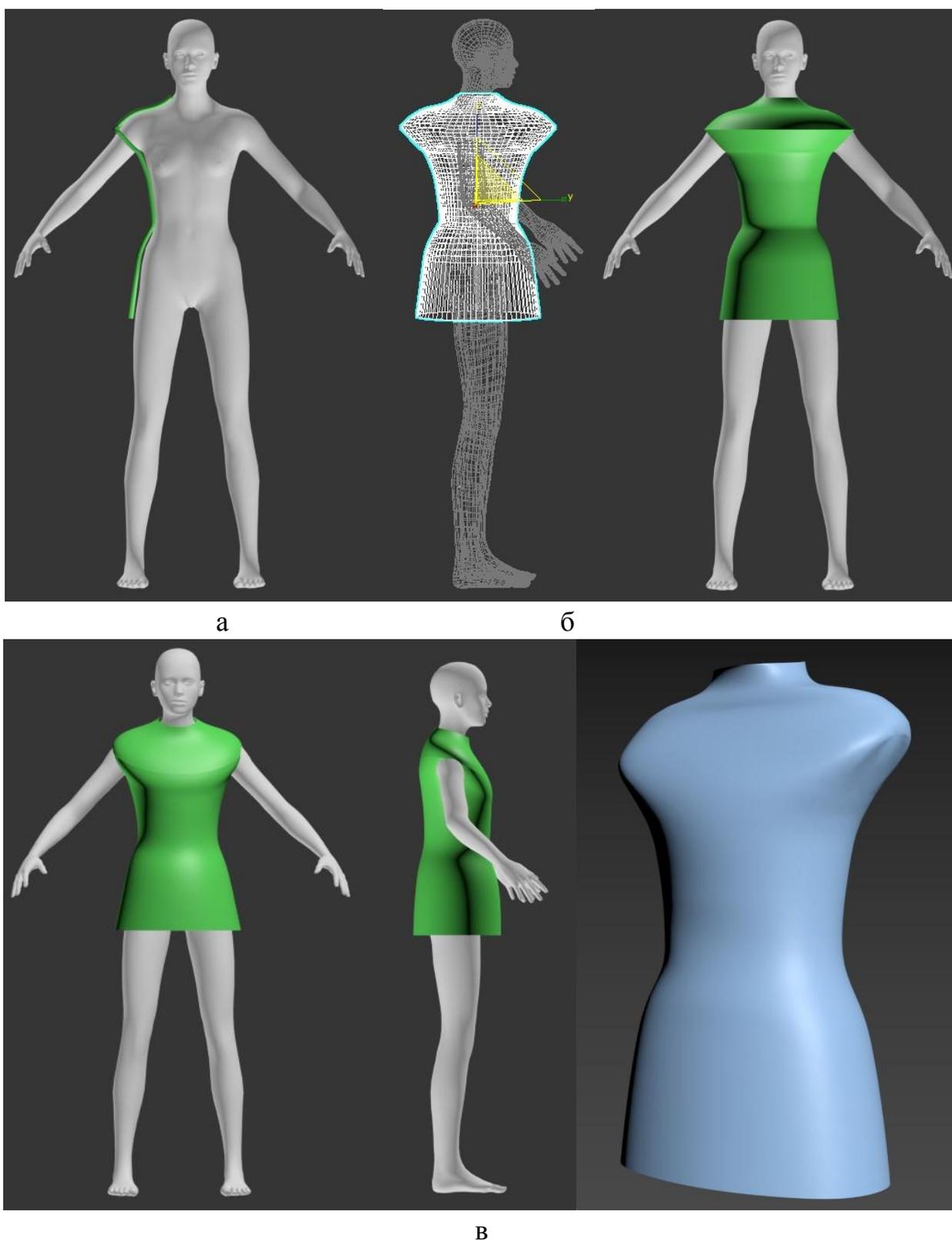
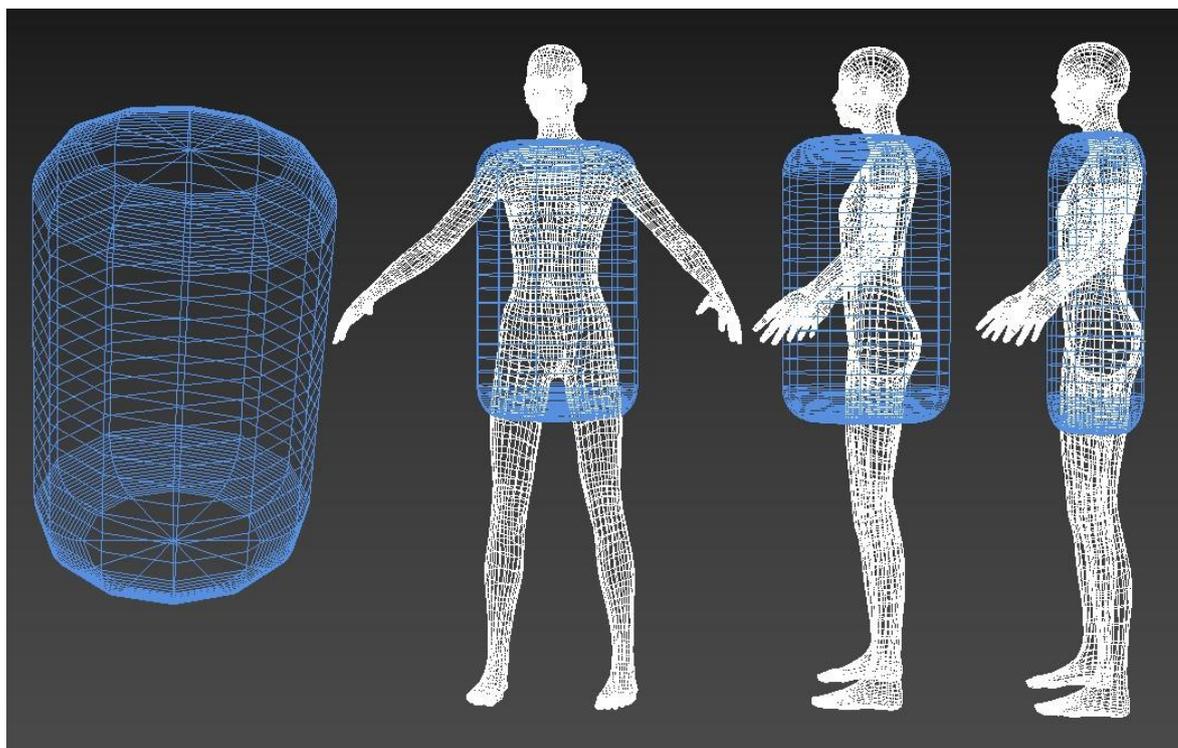
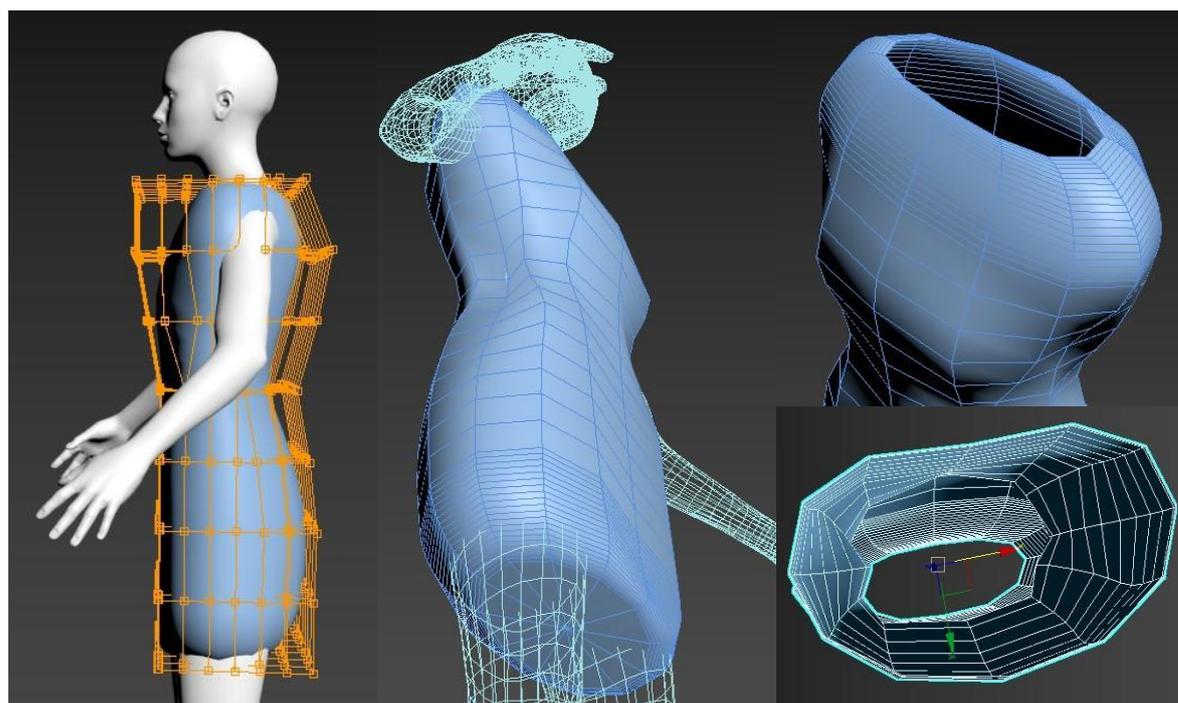


Рис. П.3.3 – Практическая апробация 3D-моделирования монолитной формы одежды на основе FDM-печати в ПО Autodesk 3ds Max. Демонстрация этапов создания первичной оболочки костюма с плечевым выделением формы способом сплайнового моделирования: (а) создание кривой по оси X; (б) итерация линии по оси X с применением модификатора Lathe; (в) уточнение формы модификатором FFD

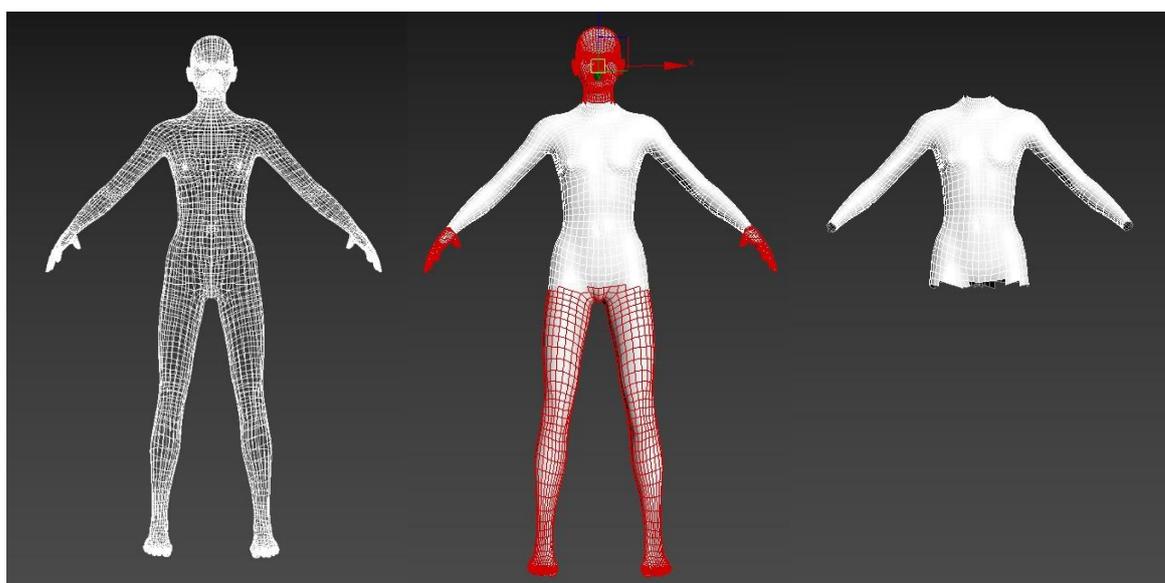


а

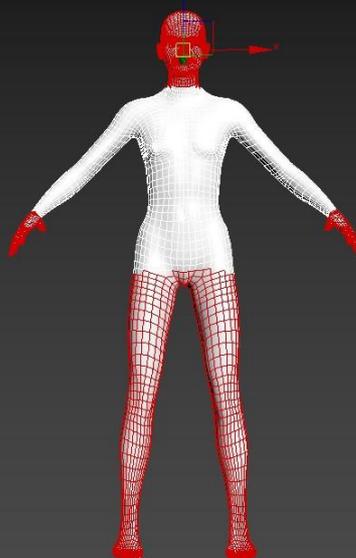


б

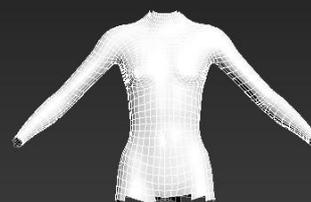
Рис. П.3.4 – Практическая апробация 3D-моделирования монолитной формы одежды на основе FDM-печати в ПО Autodesk 3ds Max. Этапы создания первичной оболочки облегающей формы с использованием примитивных объектов: (а) создание цилиндра с фаской, применение параметра сужения формы по оси Y по фигуре человека; (б) уточнение формы модификатором FFD; (в) образование отверстий путем удаления полигонов



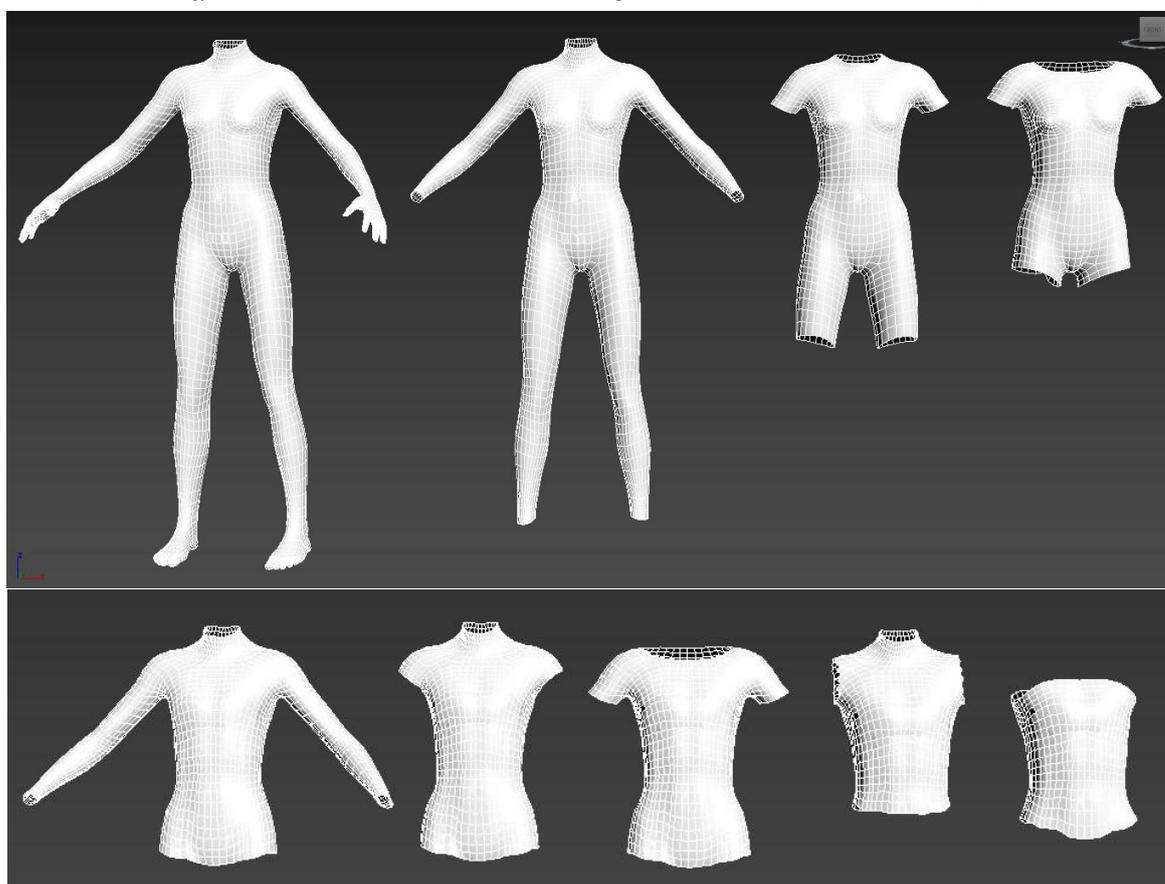
а



б



в



г

Рис. П.3.5 – Практическая апробация 3D-моделирования монолитной формы одежды на основе FDM-печати в ПО Autodesk 3ds Max. Способ создания первичной оболочки костюма с высоким уровнем облегания на основе использования трехмерной фигуры человека: (а) импорт на сцену ПО фигуры человека и ее перевод на полигональный уровень; (б) выделение группы полигонов, которые необходимо удалить; (в) полученная форма после удаления полигонов; (г) варианты форм оболочек, полученных данным способом.

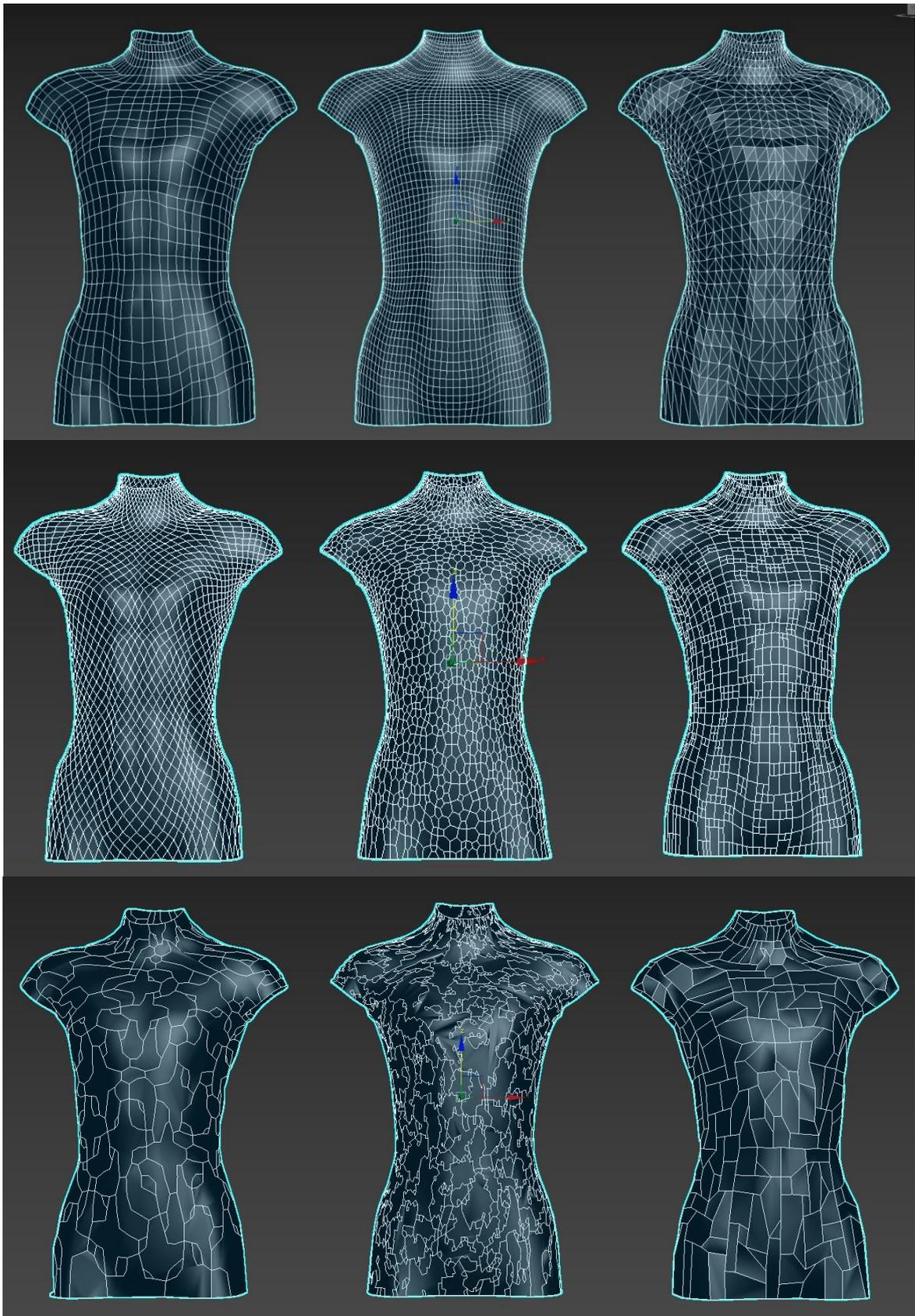


Рис. П.3.6 – Практическая апробация 3D-моделирования монолитной формы одежды на основе FDM-печати в ПО Autodesk 3ds Max. Варианты изменения рисунка сетки с помощью параметра Generate Topology

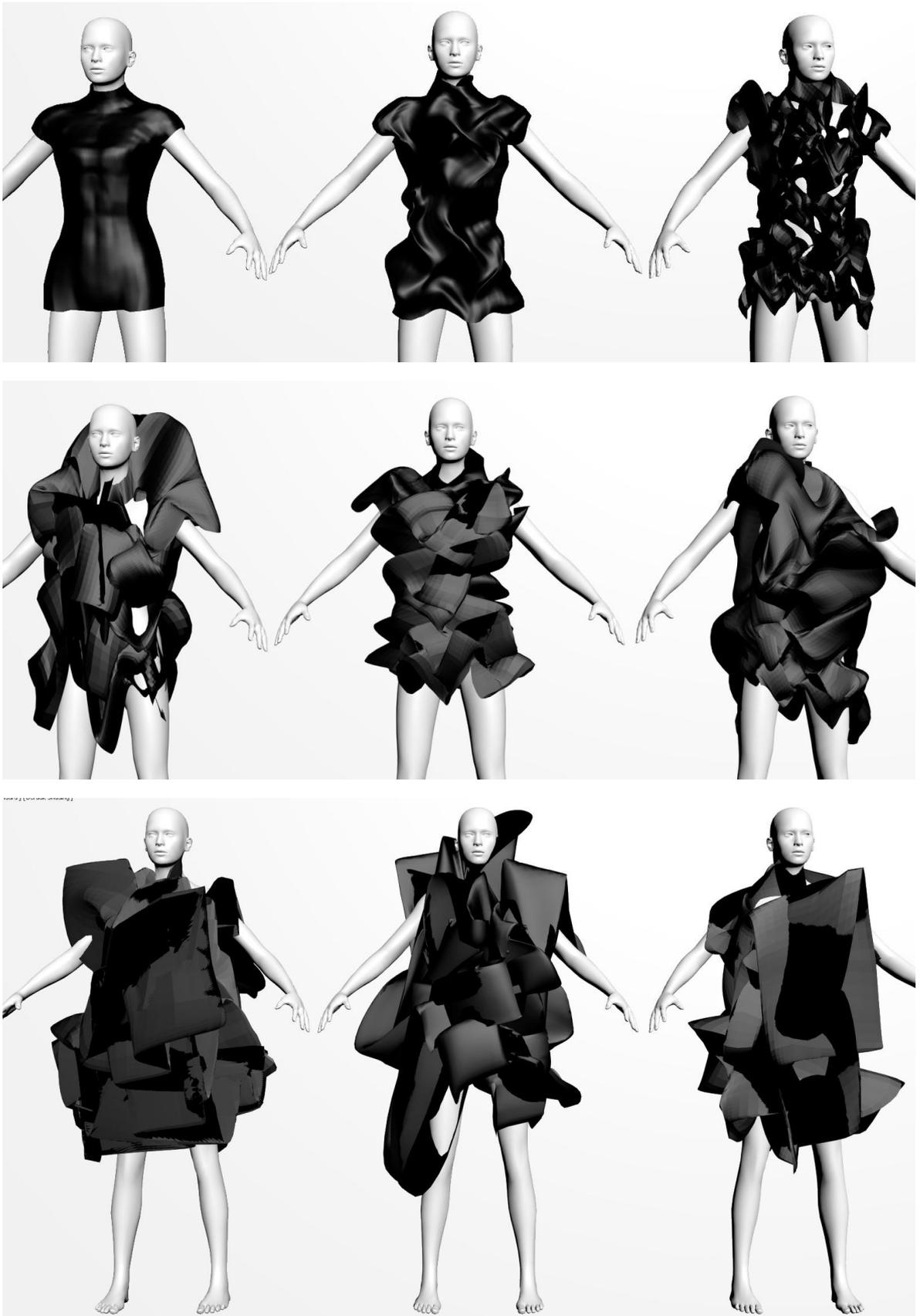


Рис. П.3.7 – Практическая апробация 3D-моделирования монолитной формы одежды на основе FDM-печати в ПО Autodesk 3ds Max. Применение параметрического модификатора Noise: исходная оболочка-примитив и ее вариации с различной степенью воздействия искривления по осям X, Y, Z.

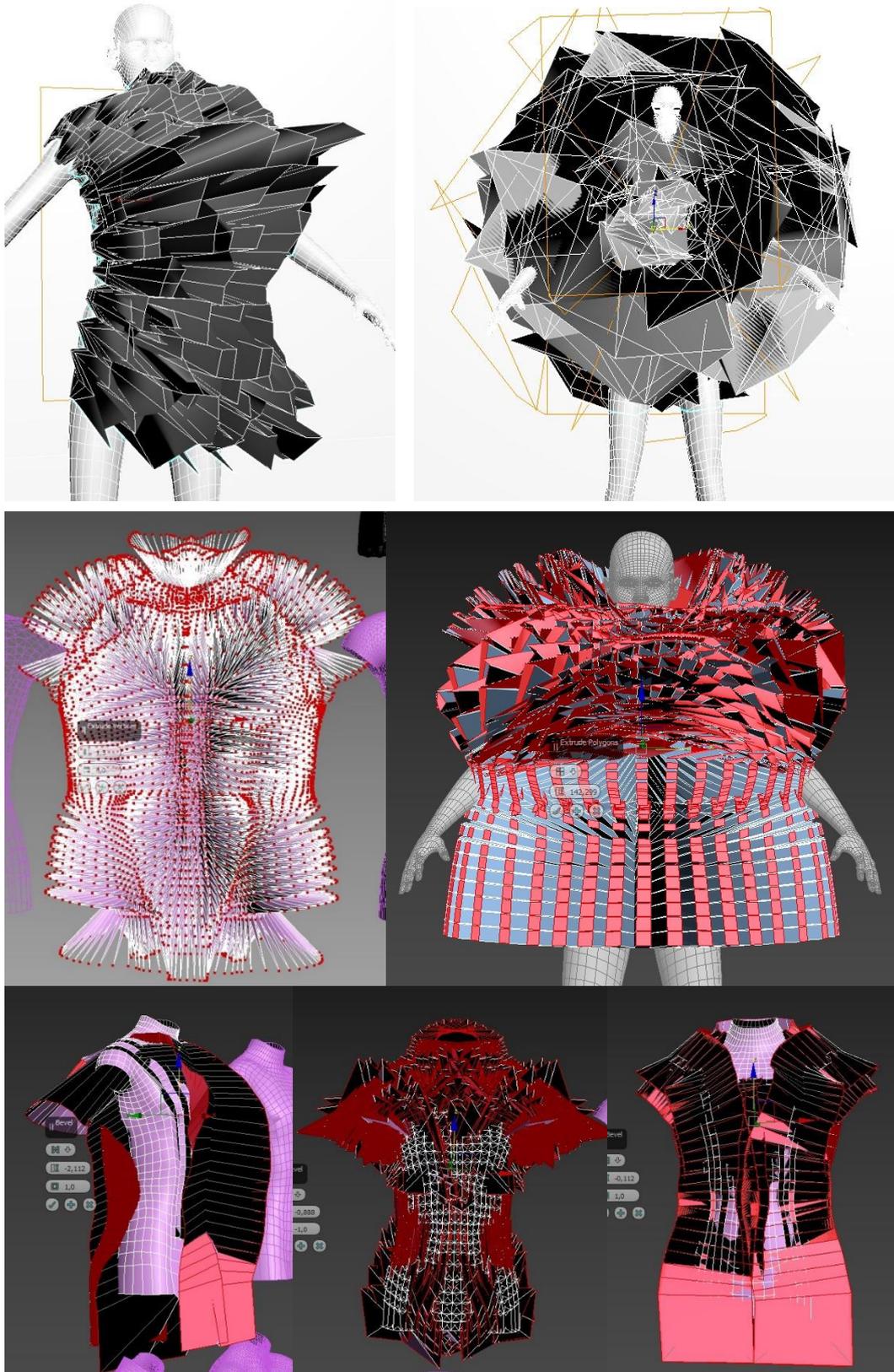


Рис. П.3.8 – Практическая апробация 3D-моделирования монолитной формы одежды на основе FDM-печати в ПО Autodesk 3ds Max. Экспериментальные 3D-модели костюма с наложенной друг на друга геометрией, выполненные путем использования различных модификаторов с произвольно заданными параметрами



Рис. П.3.9 – Практическая апробация дизайн-проектирования монолитной формы одежды на основе FDM-печати. Модель №1: (а) оболочка-примитив с заданной геометрией сетки; (б) выполнение перфораций (Bevel); (в) модификация формы (FreeForm); (г) утолщение формы (Shell); (д) напечатанная модель на 3D-принтере в масштабе 1:2,5

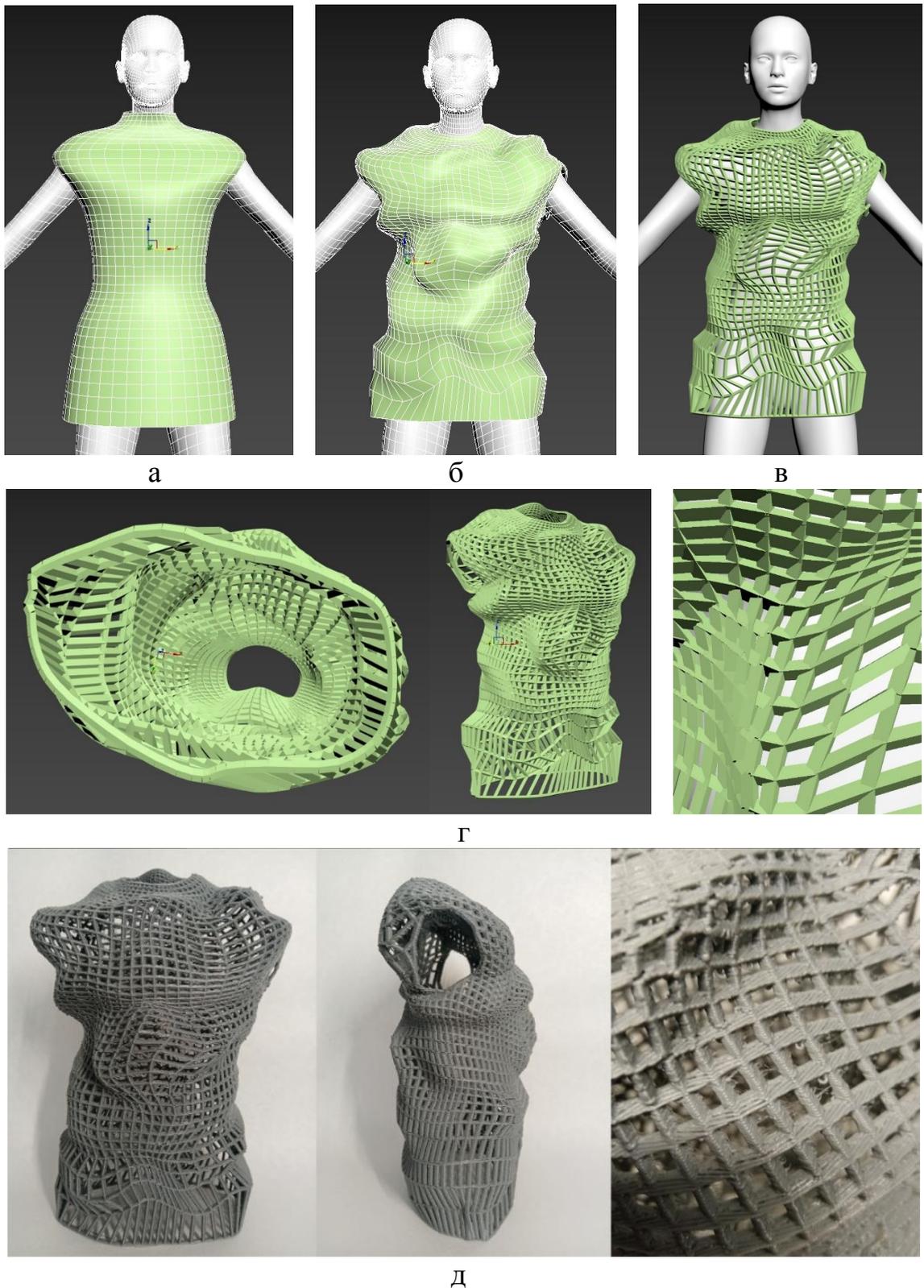


Рис. П.3.10 – Практическая апробация дизайн-проектирования монолитной формы одежды на основе FDM-печати. Модель № 2: (а) оболочка-примитив с заданной геометрией сетки; (б) изменение оболочки на уровне формы (FreeForm); (в) изменение оболочки на уровне поверхности (Lattice); (г) форма костюма с разных ракурсов; (д) напечатанная модель на 3D-принтере в масштабе 1:2,5

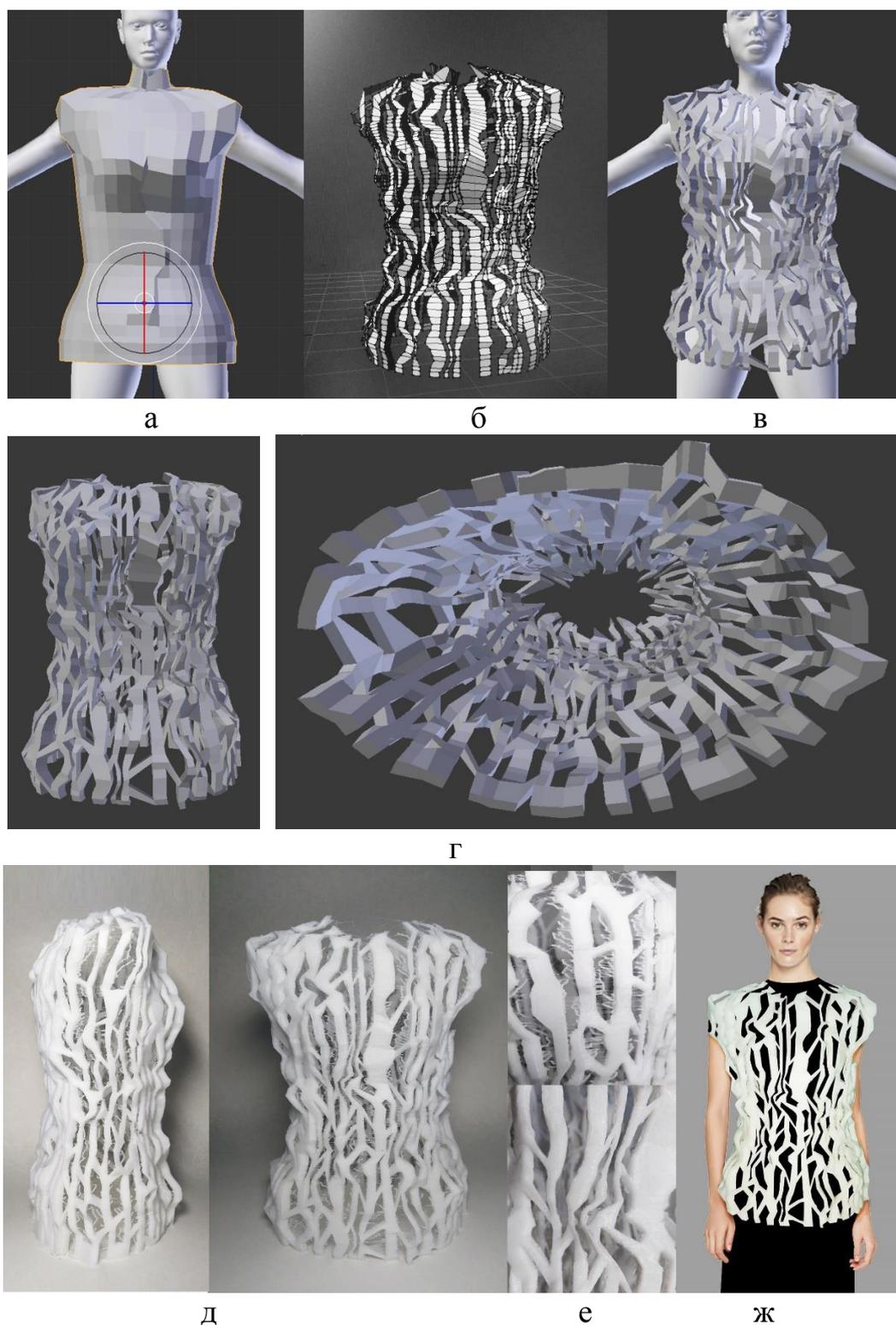


Рис. П.3.11 – Практическая апробация дизайн-проектирования монолитной формы одежды на основе FDM-печати. Модель № 3: (а) оболочка-примитив с заданной геометрией сетки; (б) удаление полигональных групп, деформация на уровне формы (FreeForm); (в) утолщение стенок оболочки (Shell); (г) форма костюма с разных ракурсов; (д) напечатанная модель на 3D-принтере в масштабе 1:2,5; (е) пост-печатная обработка изделия; (ж) демонстрация формы одежды на фигуре человека при условии печати изделия высотой 625 мм

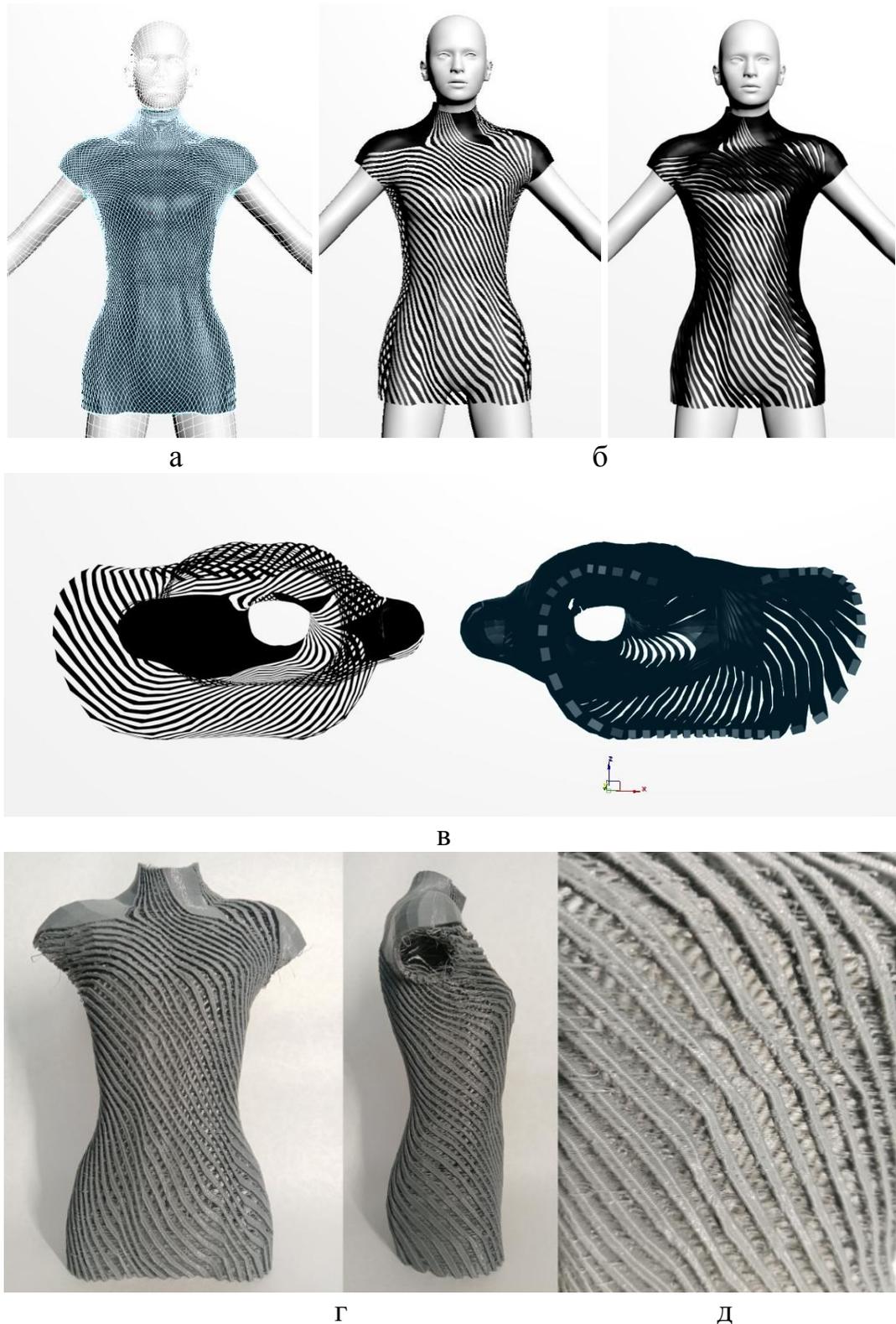
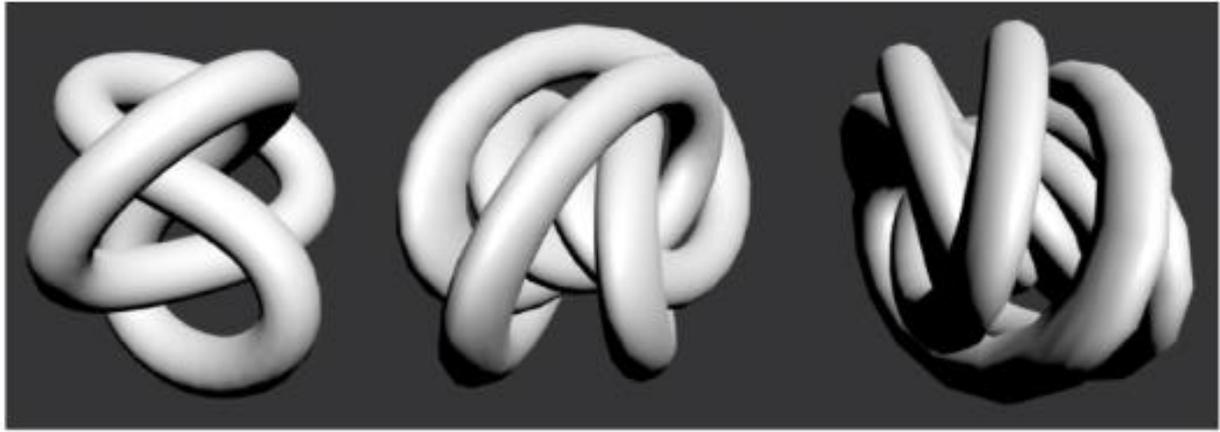
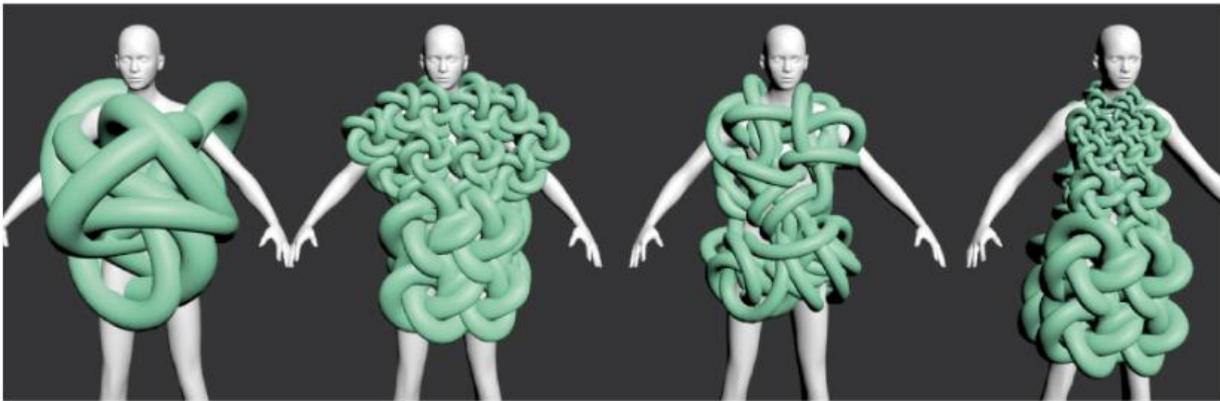


Рис. П.3.12 – Практическая апробация дизайн-проектирования монолитной формы одежды на основе FDM-печати. Модель № 4: (а) оболочка-примитив с заданной геометрией сетки; (б) изменение оболочки на уровне поверхности – удаление групп полигонов; (в) утолщение стенок оболочки (Shell); (г) напечатанная модель на 3D-принтере в масштабе 1:2,5; (д) фрагмент поверхности, ворсистость задана отключением ретрактора



а



б

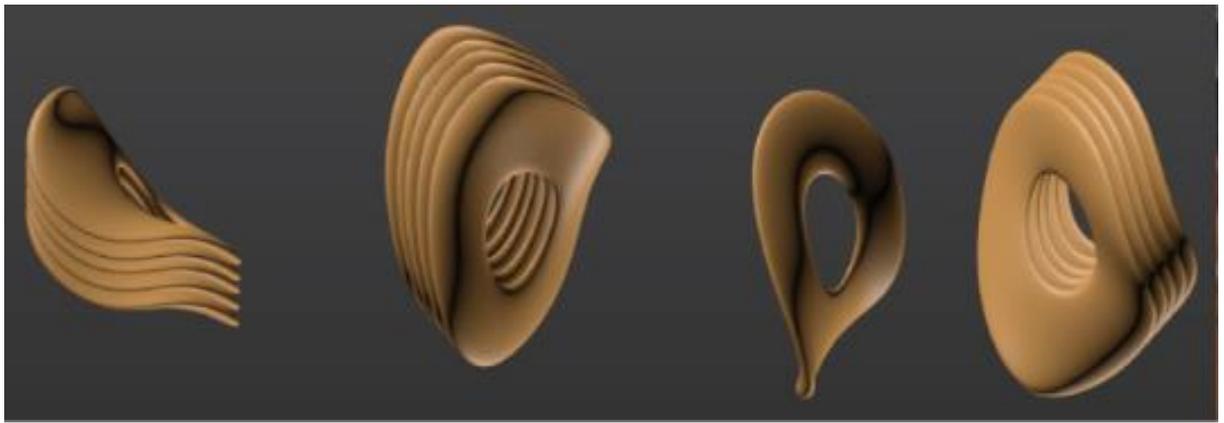


в

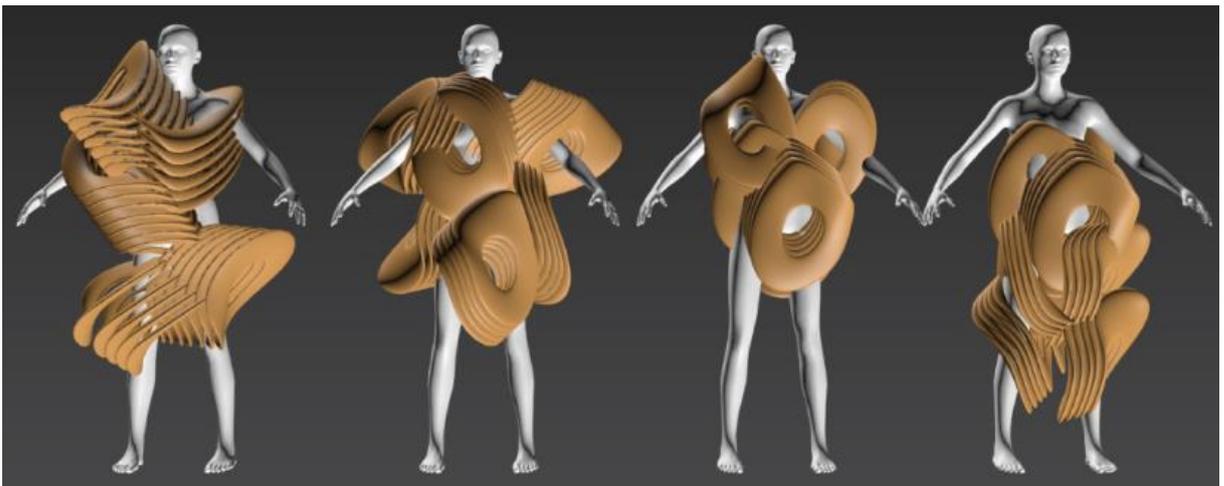
г

д

Рис. П.3.13 – Практическая апробация дизайн-проектирования монолитной формы одежды на основе FDM-печати с использованием ПО Autodesk 3ds Max и 3D-принтера JG maker Magic. Модель №5: (а) вариации модулей; (б) поиск формы костюма путем копирования модуля; (в) напечатанная модель на 3D-принтере в масштабе 1:2,5; (г) демонстрация формы одежды на фигуре человека при условии печати изделия высотой 625 мм.; (д) фрагмент поверхности



а



б



в

г

Рис. П.3.14 – Практическая апробация дизайн-проектирования монолитной формы одежды на основе FDM-печати. Модель № 6: (а) вариации модулей; (б) поиск формы костюма путем копирования модуля; (в) напечатанная модель на 3D-принтере в масштабе 1:2,5. (г) демонстрация формы одежды на фигуре человека при условии печати изделия высотой 625 мм

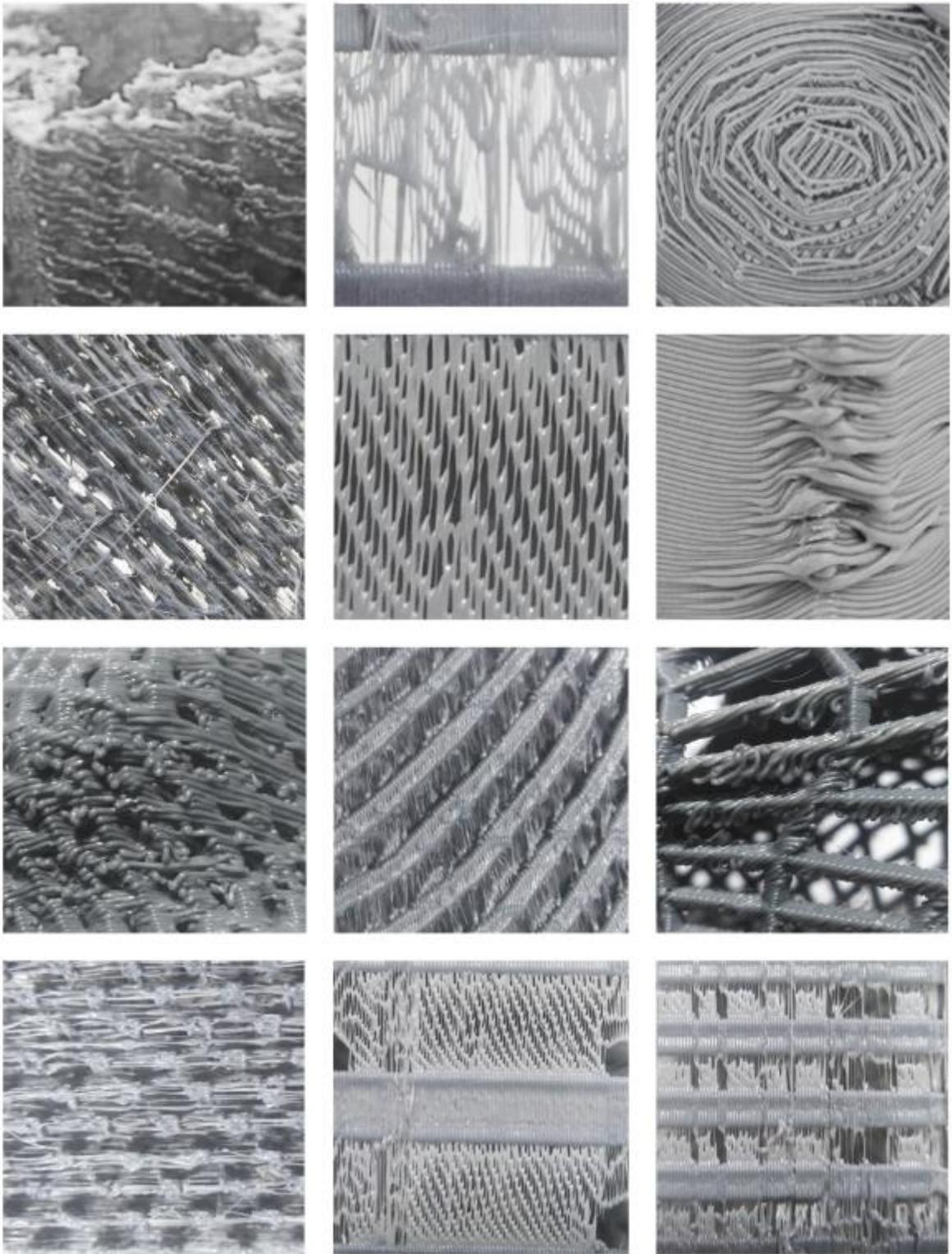


Рис. П.3.15 – Фактурные поверхности печатных объектов, достигающиеся путем отключения ретракта, отсутствия поддержек, недостаточной или излишней экструзией





а



б

Рис. П.3.17 – Второе направление развития 3D-печати костюма – симбиоз технологии печати и электронных компонентов: (а) костюм «Caress of the Gaze» автора Беназ Фарахи (Behnaz Farahi), 2015 г.; (б) серия костюмов автора Анук Випрехт (Anouk Wipprecht), 2015 г.

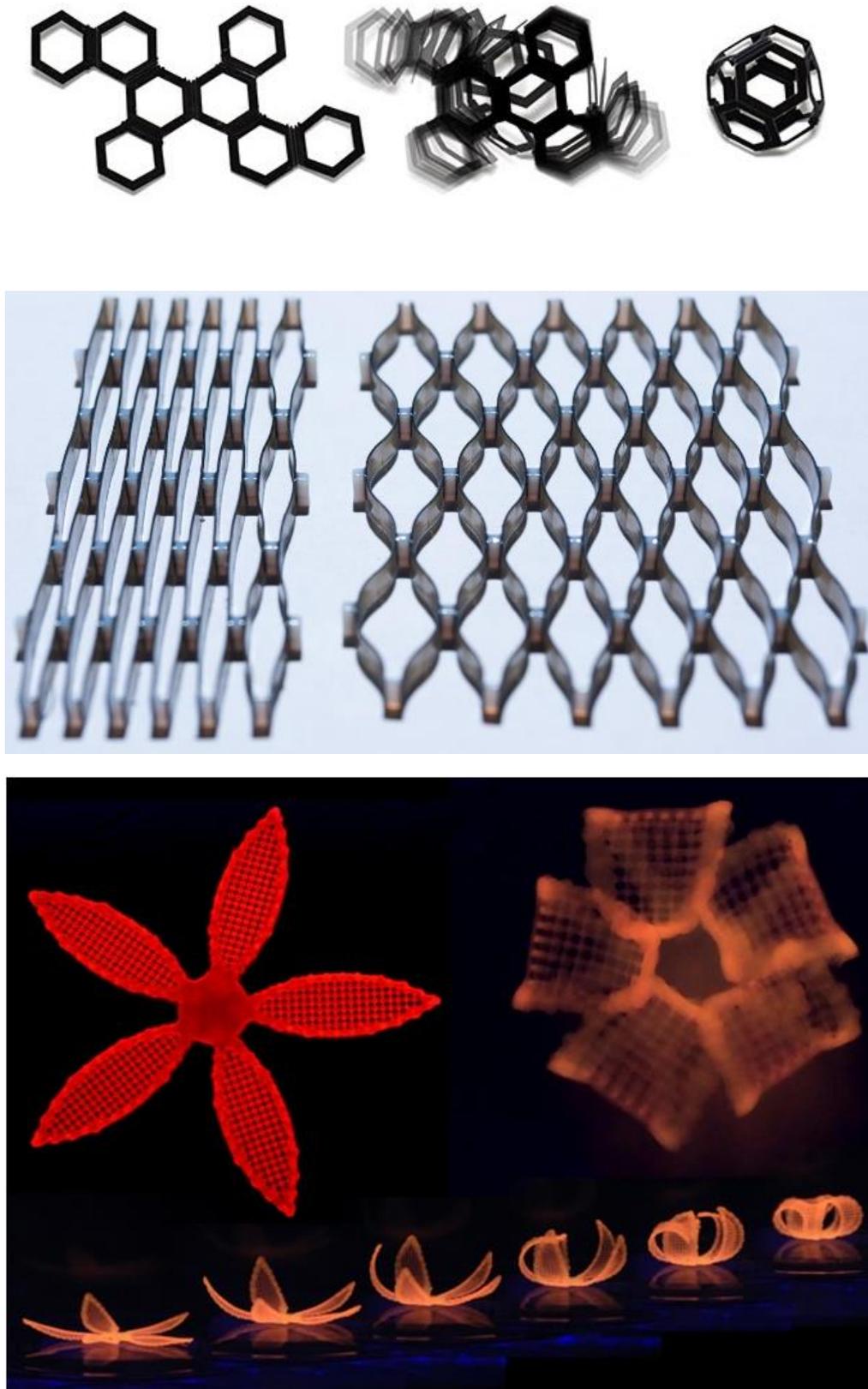


Рис. П.3.18 – Третье направление развития 3D-печати костюма – выполнение кинетических форм костюма, самостоятельно изменяющие форму. Этапы трансформации объектов, напечатанные на 3D-принтере. Университет Вуллонгонга и Массачусетский технологический институт, 2013 г.

## ПРИЛОЖЕНИЕ 4

