ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ им. А.Н. КОСЫГИНА (ТЕХНОЛОГИИ. ДИЗАЙН. ИСКУССТВО)

На правах рукописи

Kouces

КОНОВАЛОВА ОЛЬГА БОРИСОВНА

ПАРАМЕТРИЧЕСКОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ МАТЕРИАЛОВ С РЕКОНФИГУРИРУЕМОЙ ТРЕХМЕРНОЙ СТРУКТУРОЙ В ПРОИЗВОДСТВЕ ТОВАРОВ НАРОДНОГО ПОТРЕБЛЕНИЯ

Специальность

2.6.16. «Технология производства изделий текстильной и легкой промышленности»

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель доктор технических наук, профессор Костылева В.В.

ОГЛАВЛЕНИЕ

BBE	ДЕНИЕ	4
1	ПЕРСПЕКТИВЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОБУВИ	14
1.1	Актуальные тенденции в дизайне и проектировании обуви	14
1.2	Современные методы и инструменты создания обуви	21
1.3	Место материалов с реконфигурируемой структурой в науке,	37
	технике и производстве товаров народного потребления. Методы	
	и инструменты исследования	
1.4	Постановка задач исследования	43
2	ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ТЕ ОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЬІ РАЗРАБОТКИ АЛГОРИТМОВ ПАРАМЕТРИЧЕСКО ГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ МАТЕРИАЛОВ С РЕКОНФИГУРИРУЕМОЙ ТРЕХМЕРНОЙ СТРУКТУРОЙ И ДЕТАЛЕЙ ОБУВИ ИЗ НИХ	45
2.1	Оценка анатомо-функциональных свойств стоп	45
2.2	Моделирование структур с заданными параметрами в среде	54
	Rhinoceros	
2.3	Разработка нодового скрипта и его альтернативных вариантов	72
	перевода силы давления стопы в базовую графическую структуру	
2.4	Заполнение многоугольниками экспериментальных графических	87
	изображений плантарной поверхности стопы	
2.5	Описание нодовых скриптов экспериментальных образцов	
	поверхностей	95
Выво	оды по второй главе	101
3	ИССЛЕДОВАНИЕ И АНАЛИЗ СВОЙСТВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ОБРАЗЦОВ МАТЕРИАЛОВ С РЕКОНФИГУРИРУЕМОЙ ТРЕХМЕРНОЙ СТРУКТУРОЙ	103
3.1	Полимерные материалы для 3D-печати и возможность их	40-
	применения в обувном производстве	103
3.2	Исследование физико-механических свойств образцов	

	экспериментальных материалов	116	
3.3	Концепция коммерциализации предложенных методи	К	
	параметрического проектирования материалов	c	
	реконфигурируемой структурой и быстрой 3D-печати обуви	В	
	формате мобильных салонов	135	
Выводы по третьей главе			
ОБЩИЕ ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ			
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ			
ПРИ.	ЛОЖЕНИЕ А Модели экспериментальных поверхностей и	и 160	
алгоритмы их реализации			
ПРИЛОЖЕНИЕ Б Результаты лабораторных испытаний материалов			
ПРИ.	ЛОЖЕНИЕ В Статистические показатели прочности при	И	
растя	ижении, удлинения при разрыве, плотности и твердости по Шору	y 226	
образцов, принятых к испытаниям			
ПРИ.	ЛОЖЕНИЕ Г Апробация результатов исследований	243	

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. В процессе проектирования нового изделия кастомизации уже имеющегося, возникает множество задач по совмещению зависимых и независимых друг от друга данных. Причем, как правило, данные имеют разную генерацию и характеристики. Таким образом, процесс проектирования сложного изделия может затянуться, а внесение изменений в уже существующий проект - породить серии самореплицирующихся ошибок, существенно затруднив ход дальнейшей работы. В ситуации с преобладанием в работе над проектом «ручных» операций черчения, моделирования и т.п., время, требующееся на создание прототипа, может в несколько раз превышать установленное нормативами. При этом каждое последующее изменение требует воспроизведения всего цикла с начала. Усложнение взаимосвязей между разными сферами человеческой деятельности привело к созданию и внедрению во все области САПР. жизнедеятельности сложных инженерно-технических Несомненным преимуществом автоматизации технологических процессов явилось значительное снижение временных затрат на разработку изделий. Однако, специализированные САПР требуют привлечения опытных технических профессионалов. Такие САПР малоэффективны или недоступны для небольших предприятий и отдельных частнопрактикующих специалистов. Вместе с тем, активная экспансия аддитивных технологий во все отрасли промышленности позволяет реализовывать в материале самые смелые идеи, что, безусловно, привлекает внимание специалистов разного уровня из разных областей (дизайнеров, маркетологов и т.п.).

Сегодня для удовлетворения потребностей потребителей и сохранения конкурентоспособности, производители обуви должны решать две основные задачи: быстро реагировать на рыночные изменения и соответствовать новым потребительским тенденциям. Одним из решений этих задач является применение

параметрического метода проектирования и его инструментов, которые пришли в индустрию моды из архитектуры. Мода и архитектура оперируют сходными методиками: проектированием, черчением и макетированием, что обусловлено общими архитектоническими принципами формообразования. Эти дисциплины подчиняются одним и тем же композиционным приемам: ритм, мера, пропорции, масштаб, работа с фактурами и текстурами, цветом и светом, сомасштабность человеческому телу. Текущее развитие науки и технологий (особенно, цифрового проектирования и материалов) повлекло за собой появление и эволюцию таких актуальных направлений, как «архитектурная мода» и «3D-fashion».

Современная цивилизация предъявляет особые требования к характеру процессов взаимодействия производителей продукции и конечного потребителя. Технологии VR/AR-презентаций активно восприняли ведущие производители и дистрибьюторы одежды и обуви, так как это позволяет существенно экономить на проектировании, производстве, рекламе, съемках (виртуальные модели, показы, коллекции). Ритейлерам VR/AR-технологии позволяют охватывать более широкую аудиторию и предоставлять гибкий сервис в режиме 24/7 (виртуальные магазины, виртуальные примерочные, мобильные приложения и др.).

Внедрение методик, успешно зарекомендовавших себя в смежных сферах дизайна, роботизация производственных процессов и возможности создания безостановочных технологических линий, работающих В режиме обеспечивают серьезные основания для повышения эффективности процессов и качества продуктов отечественной обувной промышленности. Таким образом, проведение теоретических и экспериментальных исследований в рамках «Параметрическое проектирование диссертации материалов реконфигурируемой трехмерной структурой в производстве товаров народного потребления» являются актуальными. Значимыми факторами, определяющими актуальность настоящего исследования являются Указы Президента РФ, Распоряжение Правительства РФ [1-6] и общемировые тенденции последних лет

в науке, технике и технологиях, непосредственно влияющих на развитие индустрии моды.

Степень научной разработанности избранной темы. Существенный вклад в решение проблем развития и совершенствования проектирования и производства обуви внесли научные труды Зыбина Ю.П., Фукина В.А., Ключниковой В.М., Кочетковой Т.С., Костылевой В.В., Киселева С.Ю., Лыбы В.П., Горбачика В.Е., Бекк Н.В., Карабанова П.С. и др., в которых разработаны методологические основы создания конструкций обуви, методы и средства их оценки, в том числе с использованием цифровых, компьютерных и информационных технологий.

В части области исследований диссертационная работа соответствует пунктам: 9. Разработка цифровых моделей производства волокон, нитей, материалов и ИТЛП; 12. Антропобиомеханические основы и закономерности в антропометрических данных для построения рациональной внутренней, внешней форм и деталей конструкции при проектировании ИТЛП в цифровой и реальной среде; 13. Разработка оптимальных структур, конструкций, материалов и ИТЛП для снижения затрат на организацию их производства, повышения качества продукции и оптимизации процесса работы технологического оборудования; 14. Аддитивные технологии. Автоматизация процессов построения и моделирования ИТЛП в виртуальной среде, в том числе с использованием технологий обратного инжиниринга; 19. Разработка новых материалов, обеспечивающих высокие эксплуатационные свойства ИТЛП паспорта научной специальности 2.6.16 «Технология производства изделий текстильной и легкой промышленности». Исследования проводились на кафедре художественного конструирования И технологии изделий ИЗ научнокожи, рамках исследовательских работ РГУ им. А.Н. Косыгина на 2019-23 гг., проблема 1 «Матричный подход к формированию цифровой индустрии 4.0 на промышленных предприятиях текстильной и легкой промышленности», Тема 1.2 «Развитие инновационного потенциала предприятий по производству изделий из кожи на основе современных цифровых технологий проектирования и быстрого прототипирования» и проекта РФФИ «Параметрическое проектирование материалов с реконфигурируемой трехмерной структурой в производстве товаров народного потребления» (договор 20-38-90047-2020, регистрационный номер в ЦИТИС: АААА-A20-120120290066-5)

Объект исследования: инструменты параметрического проектирования Rhinoceros CAD, Grasshopper; лазерного сканирования, 3D-прототипирования и печати, материалы и технологии из смежных областей, методы и приборы количественного определения показателей физико-механических свойств материалов.

Предмет исследования: процессы проектирования обуви, конструкции колодок и обуви, детали верха и низа обуви, потребительские свойства обуви.

Целью диссертации является: разработка новых конструкторскотехнологических решений с использованием материалов реконфигурируемой трехмерной структуры, созданных инструментами параметрического проектирования для производства обуви и ее деталей.

В соответствии с поставленной целью в диссертации:

- проведены:

- •теоретические исследования в области закономерностей формообразования реконфигурируемых трехмерных материалов;
- анализ, систематизация и обобщение современных методов 3D-печати, с точки зрения реализуемой в них технологии, основных марок полимеров и свойств композиций на их основе по показателям температурных параметров переработки методом 3D-печати, степени их экологичности, с учетом их достоинств и недостатков;
- •анализ, систематизация и обобщение физико-механических свойств прототипов экспериментальных материалов с реконфигурируемой трехмерной структурой;

- изучены и проанализированы концепции, методы проектирования, примеры применения инструментов параметрического проектирования в области промышленного дизайна и их взаимосвязей для обоснования использования параметрического проектирования Grasshopper при реализации серийного проектирования обуви;
- смоделированы структуры материалов с заданными параметрами в среде Rhinoceros CAD с помощью языка визуального программирования Grasshopper;
- **-проанализированы и разработаны** нодовые скрипты «заполнения кругами» поверхности и контура на основе рисунка и без него;

- созданы:

- •нодовые скрипты экспериментальных материалов с реконфигурируемой трехмерной структурой;
- •макеты экспериментальных материалов с реконфигурируемой трехмерной структурой;
- —установлены физико-механические свойства прототипов экспериментальных материалов с реконфигурируемой трехмерной структурой из разных видов филаментов и их сочетаний, напечатанных на 3D -принтере;

- предложены:

- базовый параметрический алгоритм перевода давления стопы в структуру стельки или подошвы, плотность рисунка которой зависит от силы давления стопы в этой области;
- альтернативные варианты базового скрипта;
- общий план коммерциализации методики параметрического проектирования экспериментальных материалов и быстрой 3D-печати индивидуальной обуви из этих материалов в формате мобильных салонов;
- базовый технологический цикл изготовления деталей обуви и цикл его расширения.

Методы исследования. Исследования базировались на комплексном системном подходе с использованием возможностей современных информационных технологий. В ходе выполнения работы задействованы:

- теоретические положения конструирования обуви;
- методы исследования свойств материалов и оборудование для 3D -печати колодок, образцов материалов и деталей проектируемой обуви;
- методы и инструменты параметрического проектирования Rhinoceros и Grasshopper. Информационно-теоретической базой диссертации послужили труды отечественных и зарубежных ученых в исследуемой и смежных областях, энциклопедическая и справочная литература.

Научную новизну диссертации составляют разработки:

- принципов параметрического проектирования материалов с реконфигурируемой трехмерной структурой в производстве товаров народного потребления;
- алгоритмов заполнения кругами поверхностей и контуров на основе изображений и без них;
- базового алгоритма перевода давления стопы в рисунок подошвы, то есть симуляции поведения материала с учетом влияния факторов внешней среды;
- алгоритмов, альтернативных базовому;
- алгоритмов проектирования материалов с реконфигурируемой структурой.

Теоретическую значимость диссертации составляют методики:

- параметрического проектирования материалов с реконфигурируемой трехмерной структурой в производстве товаров народного потребления;
- параметрического заполнения кругами контуров поверхностей на основе изображений и без них;
- параметрического перевода давления стопы в конструкции деталей низа обуви.

Достоверность проведенных исследований базируется на согласованности аналитических и экспериментальных результатов, использовании

информационных технологий, современных методов и средств проведения экспериментов. Апробация основных положений диссертации проводилась в научной периодической печати, конференциях, в рамках научного проекта (грант РФФИ Договор №20-38-90047/2020 «Параметрическое проектирование материалов с реконфигурируемой трехмерной структурой в производстве товаров народного потребления»), а также на АО «Егорьевск-обувь».

Практическую значимость исследования составляют:

- база данных из 48 цифровых моделей экспериментальных поверхностей с реконфигурируемой структурой, разработанная с использованием предложенных алгоритмов;
- экспериментальные образцы реконфигурируемых поверхностей;
- экспериментальные образцы деталей обуви, разработанные на основе предложенных решений;
- снижение материальных и временных затрат на производство;
- возможность тиражирования продукции;
- сокращение затрат на разработку в массовом производстве;
- выбранные инструменты параметрического проектирования в области промышленного дизайна;
- результаты апробации экспериментальных образцов материалов;
- общий план коммерциализации методики параметрического проектирования экспериментальных материалов и быстрой 3D-печати индивидуальной обуви из этих материалов в формате мобильных салонов, базовый технологический цикл и цикл расширения.

Основные положения, выносимые на защиту:

- методика параметрического проектирования материалов с реконфигурируемой трехмерной структурой в производстве товаров народного потребления;
- параметрические алгоритмы:

- заполнения кругами и геометрическими примитивами поверхностей и контуров на основе изображений и без них;
- перевода давления стопы в конструкции деталей низа обуви;
- проектирования материалов с реконфигурируемой структурой;
- общий план коммерциализации методики параметрического проектирования экспериментальных материалов и быстрой 3D-печати индивидуальной обуви из этих материалов в формате мобильных салонов;
- базовый технологический цикл изготовления деталей обуви и цикл его расширения.

Личный вклад автора.

Автором сформулированы цель И основные задачи исследования, проведены теоретические исследования В области закономерностей формообразования реконфигурируемых трехмерных материалов; разработаны параметрические алгоритмы заполнения кругами поверхностей и контуров на основе изображений и без них; перевода давления стопы в конструкции деталей низа обуви; спроектированы прототипы экспериментальных материалов с реконфигурируемой трехмерной структурой, исследованы физико-механические свойства материалов из разных видов филаментов и их сочетаний, напечатанных 3D-принтере; предложен общий план коммерциализации параметрического проектирования экспериментальных материалов и быстрой 3Dпечати индивидуальной обуви из этих материалов в формате мобильных салонов на основе базового технологического цикла и цикла расширения.

Апробация и реализация результатов работы:

Основные научные результаты проведенных исследований докладывались и получили положительную оценку на:

• заседаниях кафедры художественного моделирования, конструирования и технологии изделий из кожи Российского государственного университета имени А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство);

- Всероссийском инженерном конкурсе «ВИК-2019» (с 2019 международный). «Концепция доступной 3D-печати индивидуальной обуви в формате мобильных салонов». Томск, 30 октября 19 декабря (2 место в номинации «Технологии легкой промышленности»);
- Международном Косыгинском форуме 2019. Вторые Международные Косыгинские чтения «Энергоресурсоэффективные экологически безопасные технологии и оборудование». Москва, 29 октября 1 ноября, 2019;
- XIV Всероссийской заочной научно-практической конференции «Инновационные технологии в обучении и производстве», 15 ноября 2019 года. Камышинский технологический институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего технический образования «Волгоградский государственный университет» (Публикация РИНЦ);
- Международном научно-исследовательском конкурсе научно-практических работ студентов, аспирантов и научных сотрудников ВУЗов, Институт управления и социально-экономического развития, г. Саратов, 27 ноября 2019 г. (Публикация РИНЦ, 1 место);
- Международной конференции V International Scientific Conference High Technologies. Business. Society, 2020, 09-12.03.2020, Borovets, Bulgaria;
- 72-ой Внутривузовской научной студенческой конференции «Молодые ученые инновационному развития общества (МИР-2020)», посвященной Юбилейному году в ФГБОУ ВО «РГУ им. А.Н. Косыгина», г. Москва, 16-20 марта 2020;
- VI Международной научно-технической конференции «Дизайн, технологии и инновации в текстильной и легкой промышленности» (ИННОВАЦИИ-2020), г. Москва, 12 ноября 2020 г.;
- Всероссийской научной конференции молодых исследователей с международным участием «Инновационное развитие техники и технологий в промышленности (ИНТЕКС-2021)», 12 апреля 2021 г. 15 апреля 2021 г., Москва;

- III Международном Косыгинском форуме «Современные задачи инженерных наук». Москва, 20-21 октября, 2021 (2 публикации Скопус);
- Международной научно-технической конференции «Инновации в текстиле, одежде, обуви (ICTAI-2021)», 8 10 июня 2021 года, Витебск. Дипломы ряда конференций различного уровня.

В 2020-2022 гг. выполнен научный проект - грант РФФИ № 20-38-90047/20 от 20.08.20 г. «Параметрическое проектирование материалов с реконфигурируемой трехмерной структурой в производстве товаров народного потребления». Апробация результатов на АО «Егорьевск-обувь» свидетельствуют о состоятельности предлагаемых в диссертации решений.

Публикации. Основные положения диссертации опубликованы в 17 печатных работах, 6 из которых — в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК и 4 - в научных изданиях, индексируемых в международных базах данных Scopus.

Структура и объем работы. По своей структуре диссертационная работа состоит из введения, 3 глав, выводов по каждой главе, общих выводов по работе, списка литературы и приложений. Работа изложена на 160 страницах машинописного текста, включает 159 рисунков, 15 таблиц. Список использованной литературы содержит 136 наименований библиографических и электронных источников. Приложения представлены на 87 страницах.

1. ПЕРСПЕКТИВЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОБУВИ

1.1 Актуальные тенденции в дизайне и проектировании обуви

Развитие цифровых технологий проектирования дает возможность производства креативной, модельной, спортивной обуви, а также изделий ортопедического назначения [7]. Кроме того, 3D-технологии проектирования позволяют индивидуализировать конечный продукт без серьёзных финансовых и временных затрат, расширяя его потенциал и улучшая показатели комфорта [8]. Для разработки успешной дизайн-концепции важно иметь представление о технологических новшествах, внешнем виде, популярности и актуальности продукции, предлагаемой на международном рынке. Рассмотрим некоторые из них.

Earl Stewart модель «XYZ» (рис. 1.1):



Рисунок 1.1. Индивидуализированные туфли «XYZ» Earl Stewart, (из открытых источников Internet) [9]

• на основе детального 3D-сканирования стопы заказчика;

- виртуальная модель состоит из нескольких частей, обладающих различными характеристиками;
 - носочная часть уплотнена за счет введения пластиковых включений;
 - пяточная часть обладает повышенными характеристиками гибкости;
- подошва состоит из дискретных частей, благодаря способности новейшего оборудования производить одновременную печать несколькими материалами. Напоминающая чешки обувь XYZ печатается из смеси пластика и резины разной степени гибкости. Сочетание фактур и их плотности, по мнению дизайнеров, позволяет создать эргономичную конструкцию, максимально удобную и безопасную для здоровья.

Компания Recreus (Испания) модель беговых кроссовок (рис. 1.2):



Рисунок 1.2. Эластичные беговые кроссовки Recreus, (из открытых источников Internet) [10]

- производители филаментов предлагают скачать модель беговых кроссовок с официального сайта компании, и распечатать ее в домашних условиях;
 - материал для печати Filaflex полностью разлагаем;
 - утилизация старой обуви и быстрая заменимость элемента гардероба;
 - идея свободного доступа к 3D-моделям перспективна;
 - недостатки:
 - ✓ шнуровка создает впечатление ненадежности обуви;

- ✓ не учтены индивидуальные особенности стопы;
- ✓ стелька не имеет геленка, что может пагубно отразиться на здоровье [10, 11];

Shamees Aden – самовосстанавливающаяся обувь (рис. 1.3):



Рисунок 1.3. Shamees Aden – самовосстанавливающиеся кеды для бега (из открытых источников Internet) [12].

- состоят из «протоклеток» маленьких частиц, которые проявляют активность только, если их соединить;
- «протоклетки» могут воссоздаваться в любом виде по желанию пользователя;
 - из субстанции «протоклеток» распечатывается обувь на 3D-принтере;
- «протоклетки» набирают объём, когда ощущают давление, таким образом, они формируют подошву обуви, индивидуально подстраиваясь под носителя и рельеф местности;
- если обувь погрузить в сосуд с «протоклетками», она будет самовосстанавливаться после повреждений и возвращаться в первозданный вид.

Adidas - совершенствование внутренних стелек (рис. 1.4):



Рисунок 1.4. Adidas стельки «с памятью» fitFOAM, (из открытых источников Internet) [13].

- используется эластичный гипоаллергенный материал EVA с памятью формы;
- поддерживает продольный свод стопы и защищает от ударных нагрузок при ходьбе.

Компания Motion технология OpenGo Insoles (рис. 1.5):

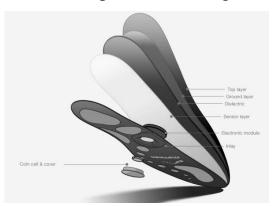


Рисунок 1.5. Motion - реабилитационные стельки, оснащенные тринадцатью датчиками (из открытых источников Internet) [14].

- реабилитационные стельки, оснащенные тринадцатью датчиками, собирающими информацию с соответствующих зон стопы и выводить температуру тела ног;
- носчик осведомлен о распределении веса, посадке и прочих показателях здоровья стопы.
 - недостаток использование батареек;
 - применимо лишь в диагностике, но не для повседневной носки.

Muan On-Sri – PLAYSHUZ (рис. 1.6):



Рисунок 1.6. Концепт дизайнера Muan On-Sri для детей (из открытых источников Internet) [15].

- персонификация методами комбинаторного дизайна;
- применение «игры» как образующего элемента.

Персонификации встраиванием дисплеев с настраиваемыми пользовательскими изображениями и синхронизацией с гаджетами:

• SwiftWear, 2015 (рис. 1.7);



Рисунок 1.7. SwiftWear, 2015, (из открытых источников Internet) 16].

• Digitsole, Ni-Ling совместно с Xiaomi, Wishills со встроенной системой внутренней навигации, 2015 (рис. 1.8):





Рисунок 1.8. Digitsole, Ni-Ling совместно с Xiaomi (из открытых источников Internet)
[17]

Nike - кроссовки Zoom Soldier 8, оснащенные системой «умной» фиксации Flyease для людей с ограниченными возможностями (рис. 1.9):



Рисунок 1.9. Кроссовки Nike Zoom Soldier 8 с технологией самофиксации (из открытых источников Internet) [18].

Анализируя направления развития современных технологий обувной промышленности, можно выделить следующие приоритетные параметры проектирования обуви:

- индивидуализация;
- доступность;
- экологичность материалов;
- удобство и комфорт.

Однако, наряду с этим, определяющим является выбор материалов для низа обуви. Базовым показателем при этом считается его износостойкость. Простейшая зависимость устанавливает, что износостойкость материала прямо пропорциональна его плотности, а, следовательно, и качеству.

Выделяют три основных группы материалов:

- полиуретаны,
- кожи;
- вулканизированная резина.

Помимо плотности, материал низа для широкого спектра изделий (включая и специальные) должен обладать и такими свойствами как:

- износостойкость;
- сопротивление многократному изгибу;
- термопластичность;
- теплопроводность и др.

Одним из таких является ЭВА — современный экологически безопасный материал, характеризующийся термостойкостью, абсолютной водонепроницаемостью и устойчивостью к бензинам, маслам, моющим средствам и прочим агрессивным химическим веществам. Отдельно следует отметить гипоаллергенность и гигиеничность материала. Изделия из него обладают высокой абсорбирующей способностью и высокой степенью амортизации. Важно, что подошва обуви является антискользящей.

Несмотря на это, ЭВА биологически нелегко расщепляем и способен к образованию двуокиси углерода, что, как известно, сопровождается созданием парникового эффекта [19]. Чтобы избежать пагубных воздействий на биосферу как промышленного образца, так и его прототипа, производство должно быть ориентированно исключительно на обеспечение ресурсоэффетивности и полной биоразлагаемости [20 - 22].

Одной из наиболее перспективных по отчетам СРІ (Центр полиуретановой промышленности, действующий в рамках Американского химического совета)

являются т.н. «полиолы на природных маслах» или NOP, которые производятся из возобновляемых сырьевых материалов, таких как соевое или касторовое масла, и могут использоваться для снижения содержания нефтехимических материалов в рецептурах полиуретанов. По оценкам экспертов отрасли производство NOP по сравнению с традиционным полиэфиром создает на 36% меньше выбросов, способствующих глобальному потеплению, использует на 61% меньше не возобновляемой энергии, и требует на 23% меньших затрат энергии в целом. К тому же, NOP обладают высокими показателями пластичности, что делает их подходящим материалом для изготовления обуви. Вышеизложенное вызывает необходимость обратиться к современным методам и инструментам создания обуви для их оценки с позиций выделенных приоритетных параметров проектирования.

1.2 Современные методы и инструменты создания обуви

Проектирование обуви на сегодняшний день осуществляют как графо - аналитическим способом, так и с использованием специальных компьютерных программ. В рамках настоящей работы рассматриваются методики проектирования ЦНИИКП, по опыту итальянской школы АРС Сутория и жесткой оболочке (МТИЛП). Представим их.

Методика ЦНИИКП [23]:

- между длинотными и широтными размерами стопы существует определенная зависимость;
- учтены положения отдельных анатомических точек на стопе, определены коэффициенты для расчета их на УРК; отражена целесообразность расчета расположения точек на развертке и разработана сетка базисных линий;
- проработка основных конструктивных линий на плоскости затрудняет визуальное представление будущей модели до изготовления опытного образца;

- моделирование ведется без учета физико-механических особенностей материала;
- система нанесения базисных линий, соответствующих анатомическим точкам стопы, несет в себе потенциал для дальнейшей автоматизации с использованием компьютерных технологий.

Методика итальянской школы АРС Сутория предполагает моделирование обуви непосредственно на колодке:

- нанесение вспомогательных линий и контуров деталей верха на колодку, обклеенную предварительно липкой лентой позволяет увидеть прообраз будущей модели до изготовления опытного образца;
- при нанесении контуров деталей верха на колодку, учитывают относительно малое количество анатомических особенностей стопы, по сравнению с методикой проектирования предложенной ЦНИИКП (не указывают центр внутренней лодыжки, конца мизинца и точку сгиба стопы);

Метод разработан для проектирования отдельных видов обуви, таких как полуботинки и ботинки с настрочной союзкой и настрочными берцами, туфель «лодочек» с ремешками и без ремешков, мокасин и сапожек, остальные виды обуви рассматриваются как разновидности этих конструкций, что затрудняет автоматизацию работ по этой системе в рамках массового производства. В методике для нахождения внутреннего и наружного пучков колодку поочередно прикладывают к краю стола, таким образом, чтобы она касалась стола нижними частями внутренней и наружной сторон [24]. В точках касания к столу, отмечают внутренний и наружный пучки соответственно. Соединив при помощи гибкой ленты (на боковой поверхности колодки) намеченные точки, получают линию кальцаты, которая является ориентиром при дальнейшем проектировании. Наружную сторону боковой поверхности колодки обклеивают липкой лентой («скотч») так, чтобы её концы заходили за граничные линии и линии ребра следа. Полосы ленты без морщин наклеивают «внахлестку», начиная с пяточной части. Излишки ленты по граничным линиям, ребру следа и базисной площадки

срезают. Отрезок B_r С передней граничной линии (рис. 1.10) делят на три равные части.

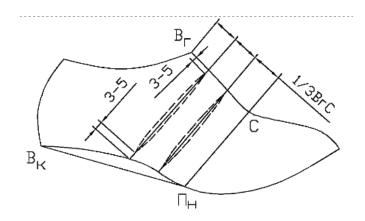


Рисунок 1.10 Подготовка условной развертки к снятию с колодки [24]

Из полученных точек проводят линии, параллельные линии кальцаты. «Оболочку» из липкой ленты аккуратно снимают с колодки, начиная с пятки, и делают надрезы по линиям, параллельным кальцате, не доходя 3 мм до края.

Снятую с колодки «оболочку» из ленты наклеивают без растяжения на ватман, начиная с пятки, и обводят её наружный контур. В местах надрезов могут образовываться вытачки, на величину которых площадь «оболочки» не корректируют. Полученный шаблон из ватмана вырезают.

Условную развертку наружной стороны обводят карандашом на листе бумаги. Точки B_{κ} и $\Pi_{\rm H}$ соединяют прямой линией. Начиная с пятки, перпендикулярно линии ребра базисной площадки, проводят параллельные прямые на расстоянии 15-20 мм друг от друга в пяточной и 10 мм – в носочной частях. Шаблон вырезают из бумаги, по намеченным линиям делают надрезы от наружного контура до опорной полосы. Надрезанный шаблон прикрепляют липкой лентой на внутреннюю сторону боковой поверхности колодки так, чтобы контуры шаблона точно совпадали с граничными линиями колодки. На шаблон переносят линию ребра следа колодки, снимают его, излишки бумаги по линиям ребра обрезают. Шаблон наклеивают на ватман. Вырезают его по наружному

контуру, получают условную развертку внутренней стороны боковой поверхности.

На листе плотной бумаги обводят карандашом развертку наружной стороны. На этот контур наклеивают развертку внутренней стороны (рис. 1.11). Очерчивают нижний контур развертки внутренней стороны. Получают УРК, на которой отмечают точку кальцаты С, также фасон Ф, размер N, полноту W, высоту приподнятости пяточной части h_{κ} колодки. Шаблон УРК вырезают по наружному контуру, а по линии внутренней стороны, которая, как правило, располагается внутри контура УРК, делают надрезы или прорези. На УРК проводят линию СР, перпендикулярно верхнему контуру УРК в точке С (рис. 1.11, а). Линию СР делят пополам, получают точку Р1, от которой вверх и вниз по линии откладывают по 2,5 мм (точки а и а') и выполняют надрезы до отмеченных точек. Если УРК получают

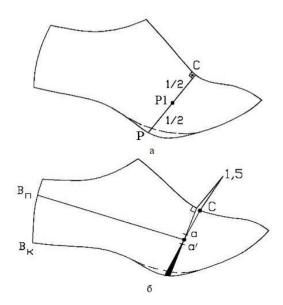


Рисунок 1.11. Получение и корректировка УРК [24]

с колодки для закрытой обуви и используют её для проектирования конструктивной основы верха полуботинок, то носочную часть УРК опускают вниз так, чтобы расстояние между краями надреза в точке С было равно 1,5 мм, при этом в точке Р образуется наложение (рис. 1.11, б). Закрепив носочную часть

УРК в указанном положении, по линии СР наклеивают липкую ленту, фиксируя вытачку точке С и наложение в точке Р. Если УРК получают для легкой обуви и используют её для проектирования конструктивной основы верха туфель, то носочную часть поднимают вверх так, чтобы вытачка шириной 5 мм образовалась в точке Р, а в точке С – наложение. Указанное положение носочной части УРК Контроль формы и размеров УРК выполняют с фиксируют липкой лентой. помощью склейки из бумаги. Развертки внутренней и наружной сторон боковой поверхности колодки очерчивают на бумаге. Вырезанные из бумаги шаблоны склеивают липкой лентой, полученную склейку надевают на колодку. Метод УРК итальянской школе получения является одним распространенных и удобных. Использование нетоксичного, дешевого материала - бумажного «скотча», является неоспоримым преимуществом данной методики. Быстрота, простой алгоритм получения разверток боковых поверхностей делает метод доступным и легким при обучении. Также при выборе данного метода проектирования модельер сразу может оценить эстетические показатели модели, поскольку отрисовка происходит непосредственно на колодке. Бумажная склейка дает возможность определить качество «посадки» модели на колодку без материальных затрат на экспериментальный образец. При этом в случае обнаружения ошибок, корректировки могут быть внесены сразу же, не снимая склейку с колодки. При всех достоинствах данной методики нельзя не заметить и ее недостатки, которые скорее являются допущениями: на колодке не отмечаются все важные антропометрические точки стопы, что увеличивает число ошибок при проектировании. При снятии «оболочки из скотча» с колодки ее необходимо приклеить на жесткий ватман, который не позволяет повторно «примерить» полученную развертку на колодку. Многократное вырезание шаблонов из ватмана из-за многоступенчатой системы корректировок не позволяет работать на одном чертеже. Распластывание «оболочки из скотча» требует определенного навыка.

Развертку боковой поверхности колодки по **методике немецкой обувной школы** [25] получают при помощи бумажной липкой ленты (бумажного скотча)

шириной 15-20 мм. Небольшая ширина липкой ленты позволяет избежать лишних надрезов, складок и при распластывании более точно повторять сложную пространственную геометрическую форму боковой поверхности колодки. Первую полоску бумажного скотча наклеивают на пяточную часть колодки так, чтобы нижний край ее совпадал с ребром следа, а по длине доходил до геленочной (рис.1.12). Липкую ленту наклеивают без лишнего натяжения так, чтобы полоски свободно располагались на боковой поверхности колодки.



Рисунок 1.12. Наклеивание первой полоски бумажного скотча [25]

Последующие полоски бумажной липкой ленты наклеивают параллельно первой, при этом края полосок должны заходить друг на друга на 1 см (рис. 1.13). Обклеивая колодку липкой лентой, необходимо избегать большого количества складок, особенно в области пяточного закругления и носочной части; образующиеся складки следует тщательно разглаживать.



Рисунок 1.13. Обклеивание боковой поверхности пяточной части бумажным скотчем [25]

Затем обклеивают боковую поверхность геленочной части: первую полоску скотча наклеивают так, чтобы ее верхний край совпадал с передним верхним ребром базисной (установочной) площадки и далее свободно, без складок располагался на внутренней и наружной поверхностях по полоскам скотча,

наклеенных в пяточной части (рис. 1.14). Нижние края полосок загибают за ребро следа пятки и приклеивают к стелечной поверхности колодки.



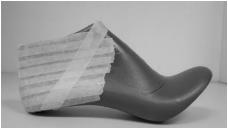


Рисунок 1.14. Начало обклеивания геленочной части колодки бумажным скотчем [25]

Последующие полоски бумажного скотча наклеивают параллельно друг другу вдоль гребня колодки и разглаживают, чтобы на них не было складок. В месте наибольшего прогиба поверхности колодки параллельность полос может нарушиться. В этом случае в области пучков полоски скотча следует наклеивать с большим наложением друг на друга во избежание образования не заклеенных участков. В носочной части полоски скотча снова следует наклеивать параллельно друг другу (рис. 1.15). После обклеивания всей боковой поверхности колодки, излишки липкой ленты аккуратно срезают ножом по линиям ребер следа и установочной площадки.



Рисунок 1.15. Обклеивание носочно-пучковой части колодки бумажным скотчем [25]

В пяточной части намечают наиболее выпуклые точки ребер установочной (базисной) площадки (А) и следа пятки (Б). Последняя является проекцией точки

В - середины ширины следа пяточной части в сечении 0,18Д. Располагая верхний край сантиметровой ленты на точках А и Б, карандашом проводят граничную линию в области пятки, на которой отмечают точку Г, соответствующую наиболее выступающей точке пяточной части боковой поверхности колодки. Граничную линию в области гребня и носка проводят через наиболее выпуклые точки ребер базисной площадки Д и следа носочной части Е. На полученной граничной линии отмечают точку Ж - наиболее выпуклую точку поверхности носочной части. Все отмеченные точки также соединяются при помощи сантиметровой ленты или полоски бумаги (рис. 1.16).

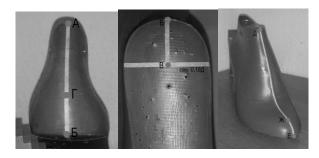


Рисунок 1.16. Проведение граничных линий [25]

Для определения длин наружной и внутренней боковых поверхностей колодки по геодезической линии (точки Г и Е) начало ленты совмещают с точкой Г и, удерживая ее в натянутом состоянии, совмещают с точкой Е. Особенность измерения заключается в том, что лента в носочно-пучковой части только касается поверхности колодки и не прилегает к ней (рис. 1.17). Полученное значение записывают на оболочке наружной и внутренней боковых поверхностей колодки.

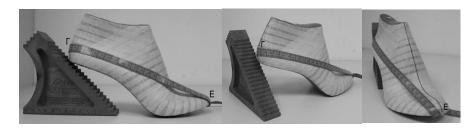


Рисунок 1.17. Измерение длины геодезической линии [25]

Затем оболочку из скотча разрезают по граничным линиям АБ и ДЕ и снимают с колодки. Снимать ее начиная с пятки, аккуратно отклеивая небольшие участки, не растягивая ленты скотча. Снятую с наружной стороны оболочку, не деформируя, наклеивают на ватман, тщательно разглаживая складки, распределяя их равномерно по всей площади. Затем вырезают развертку наружной боковой поверхности колодки. Аналогично оформляют развертку внутренней боковой поверхности колодки.

На новом листе ватмана заранее проводят отрезок прямой, длина которого равна длине геодезической линии наружной боковой поверхности колодки. Развертку наружной стороны накладывают на ватман так, чтобы точка Г геодезической линии совпала с началом отрезка (точка 1), а точка Е с концом (точка 2). Контур развертки обводят карандашом. Если длина развертки больше или меньше отмеченной длины отрезка, то развертку обводят сначала только до носочно-пучковой части, а затем, сдвинув ее слегка в нужную сторону, продолжают обвод по контуру. Точность УРК зависит от соответствия длины полученных разверток длине геодезической линии колодки.

На полученный контур накладывают развертку внутренней боковой поверхности колодки, предварительно вырезанную из ватмана, так, чтобы совпадали линия гребня и верхняя точка линии пяточного закругления. В таком положении развертку обводят карандашом. Если в носочной части расхождение между контурами больше 3 мм, то развертку внутренней поверхности колодки обводят только до носочно-пучковой части, затем ее совмещают в носочной части с наружным контуром и обводят. Полученные контуры разверток усредняют по линиям пяточного закругления, геленочной части и гребня. Различие между контурами остается только в носочно-пучковой части по линии следа, которое и будет определять наружную и внутреннюю стороны (рис. 1.18). Так получают усредненную развертку боковой поверхности колодки.

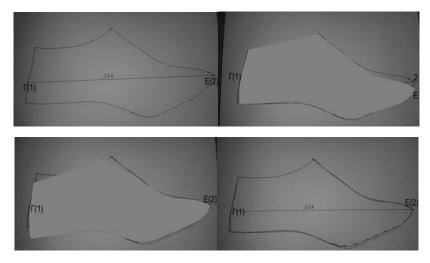


Рисунок 1.18. Этапы получения УРК [25]

Готовую УРК вырезают из бумаги, делая «окошки» по контуру внутренней линии. На УРК записывается фасон колодки, размер в штихмассовой системе, длина геодезической линии и высота приподнятости пяточной части [23]. Полученная УКР является основой для дальнейшего проектирования и моделирования базовых конструкций обуви.

Методика проектирования МТИЛП - учитывает толщину промежуточных и внутренних деталей обуви при получении УРК [26]:

- способ получения развертки боковой поверхности колодки из полимерной пленки наносимой вакуум-аппаратом, к которой прикреплены все промежуточные и внутренние детали обуви, основная стелька;
 - толщина материалов деталей соответствует требованиям ГОСТ;
- детали прикрепляют в последовательности, указанной в методике сборки обуви;
 - макет изделия, удовлетворяющий требованиям.

Наиболее значимыми составляющими рассмотренных методик для проектирования обуви в условиях использования информационного оборудования являются:

• применимость для различных видов обуви;

- возможность нанесения эскиза, конструктивных линий и анатомических точек на модель колодки;
- возможность учета толщины и физико-механических свойств материалов деталей обуви;
- вероятность минимизации погрешностей при размещении разверток боковой поверхности колодки на плоскости.

На этом фоне обратимся к разработкам по автоматизации обувного Так B.A. Фукиным производства в целом. создана система автоматизированного проектирования колодки по сечениям стопы, позволяющая градировать и проектировать колодки с различной приподнятостью пяточной части. Предложено математическое описание поверхности колодки в виде параметрических сплайнов, ряд программ и модулей для станков с числовым управлением [27]. Разработаны программным алгоритмы проектирования контуров УРК с учетом физико-механических свойств материалов, конструкции верха и формы носочной части колодки [28, 29], информационное обеспечение САПР верха обуви и автоматизированный банк текстовой и графической информации [30], предложена методика автоматизированного построения УРК, позволяющую переместить конструктивные линии из объемной поверхности на плоскость [31],созданы дополнительные модули к «Auto CAD» для проектирования верха обуви [32].

Исторически сложилось так, что сфера промышленного проектирования жестко ограничена требованиями стандартов, которые касаются лишь плоского черчения. Поэтому переход от черчения на бумаге к экрану монитора изначально пошел по пути простого переноса проектировочных работ в компьютер. В обувной промышленности получили распространение системы автоматизированного проектирования обуви (САПРО), поддерживающие формат 2D. Эти системы автоматизируют работу с конструктивной основой верха обуви. Одной из таких систем, наряду с АССОЛЬ-ОБУВЬ, Шузмодел, является АСКО-

- 2D, наиболее востребованная на сегодняшний день в России на предприятиях, производящих обувь. Основные этапы 2D-проектирования в системе:
 - нанесение на обклеенную скотчем колодку вспомогательных линий;
- нанесение основных конструктивных линий будущей модели обуви на колодку;
- получение УРК с нанесенными вспомогательными и конструктивными линиями (грунд-модель);
- построение грунд-модели и ее отображение на экране монитора в цифровом виде;
 - собственно процесс моделирования.

Таким образом, системы 2D-проектирования имеют особенности, обусловленные конвертацией 3D- информации о колодке в плоскую грундмодель.

Тем не менее, для обработки данных в 3D-форматах необходимо скоординировать и связать параметры поверхности колодки с параметрами построения верха обуви в единое интегрированное информационное пространство.

Современные программы трехмерного моделирования позволяют связать эти два пространства. На рынке уже имеются САПРО, поддерживающие 3D-формат (САПРО-3D). Наиболее известными среди них являются разработки фирм: DelCam, Clarks, Lectra systems, Gerber System [33-36]. Однако, технологические особенности западного оборудования, а также высокая стоимость программного обеспечения, препятствуют активной интеграции зарубежных САПРО-3D в российское обувное производство.

Наиболее известным автоматизированным программным комплексом в обувной промышленности считается Delcam Crispin. На этапе стилевого проектирования компьютерное моделирование сокращает время на разработку дизайна изделий и ускоряет принятие решений на основе подготовленных визуальных материалов. Обсуждение стиля может идти на расстоянии, используя

современные электронные технологии. Значительно упрощается процедура градирования элементов обуви по размерам, оптимизируется расход материалов при раскрое.

LastMaker 2016 - инструмент для создания и модификации колодок. Цифровую 3D-модель колодки можно легко и быстро модифицировать, что позволяет более оперативно приступить к этапу создания дизайна обуви. Завершенный проект колодки можно передать на обработку в САМ-систему Delcam PowerMILL, что позволит значительно сократить длительность производственного цикла.

Высокоэффективные инструменты ПО ShoeMaker 2016 позволяют создавать реалистичные трехмерные изображения моделей, что сокращает временные затраты на утверждение проекта и исключает необходимость изготовления дорогостоящих натурных образцов.

ShoeStyle 2016 - модуль для работы только со стилевыми линиями. Линии, наносимые на колодку курсором, могут модифицироваться и комбинироваться с ранее спроектированными. Их можно развернуть на плоскость для использования в модулях изготовления или наоборот наложить на объемную колодку. ShoeStyle — это простой и доступный продукт для нанесения линий дизайна на 3D-поверхность колодки. В ShoeStyle можно импортировать модель колодки, плоский эскиз или иллюстрацию для переноса линий. ShoeStyle идеален для того, чтобы убедиться в правильности положения линий перед 2D-деталировкий и изготовлением шаблонов.

Процесс получения УРК в САПР довольно прост: поверхность колодки сканируется и переносится в цифровую среду программы, где она дорабатывается (сглаживаются неровности, уточняются граничные линии, поверхность разбивается на множественные плоскости, которые образуют сетку, проводятся граничные линии). Файл с результатами оцифровки импортируется в модуль проектирования, где при помощи заданной функции, программа считывает развертки боковых поверхностей колодки, усредняет их, проектируя УРК.

Отечественные НИИ и различные вузы, в том числе текстильной и легкой промышленности ведут исследования по разработке САПРО-3D, отвечающих требованиям российских производителей обуви.

Современный уровень развития производства подразумевает создание 3D-моделей изготавливаемых конструкций и их деталей. Трехмерная графика переводит пакеты автоматизированного проектирования в среду, позволяющую судить о готовом продукте по фотореалистической визуализации, что в свою очередь, предоставляет возможность вести художественно-эстетическую оценку коллекции на стадии, предшествующей изготовление опытных образцов. САПР обуви, поддерживающими функцию трехмерной визуализации являются: Shoemaker (США), Delcam (Англия), Shoemaster (Англия), Schoe cam (Германия), FDS (Германия/США); системы автоматизированного проектирования колодок: Easylast 3D, NewLast; системы автоматизированного проектирования пресс-форм: Cimatron (Израиль), Romans CAD Software (Франция).

Сегодня обувная промышленность ЭТО высокотехнологичное производство, применяющее активно системы автоматизированного (САПРО), что положительно сказывается на проектирования обуви его экономической эффективности. В обувной промышленности получили распространение САПРО, поддерживающие форматы 2D и 3D. Эти системы автоматизируют работу с конструктивной основой верха обуви (КОВО), усредненной разверткой боковой поверхности колодки (УРК) и разверткой следа обуви. фирм DelCam [33], Clarks [34], Lectra systems [35], Gerber System [36]. Интерес представляют исследования [37-39]. Ведутся и отечественные разработки [40-46].

Создание новых технологичных изделий — это трудоемкий процесс, облегчить который помогает применение современных технологий, таких как обратный инжиниринг и др. Такие процессы начинаются с разработки свежей идеи, и заканчиваются производством продукции.

В настоящее время машиностроении практически необходимой В альтернативой стабильного развития предприятий является применение обратного инжиниринга, как одного из перспективных методов. Обратный или реверс-инжиниринг в машиностроении — это комплекс технологий, аппаратных и программных средств, необходимых для создания свойств объекта с внесением в него ряда доработок в условиях отсутствия полной информации о структуре и технологии создания. Для данной технологии аппаратными средствами являются 3D сканеры, 3D-принтеры, компьютеры для сбора и обработки полученной информации и создания модели объекта.

Основными преимуществами обратного инжиниринга являются:

- сокращение временных и иных затрат на этапе создания продукции;
- высокая производительность процесса;
- экологичность;
- возможность внесения доработок и автоматизации процесса.

К основным этапам обратного инжиниринга относятся:

- получение математической модели образца с использованием инструментов 3D-сканирования и 3D- проектирования;
- создание в CAD-системе цифрового образца из данных, полученных с 3D-модели, и оформление документации на него;
 - собственно изготовление образца на основе модели.

Применительно к проектированию обуви в 3D-среде этапами реверсивного инжиниринга могут выступать:

- выбор базового объекта (колодка/стопа);
- получение геометрической информации о базовом объекте (сканирование/обмеры);
 - преобразование геометрической информации в цифровую 3D-модель;
 - преобразование 3D-модели в программной среде;
 - получение физического прототипа.

Использование формата 3D в системе проектирования обуви позволяет:

- расширить спектр автоматизации конструкторско-технологических работ;
- определить художественно-эстетическую ценность изделия до изготовления образцов;
- создать единое информационное пространство модели обуви, колодки и деталей низа.

В связи с этим, нам представляется состоятельной работа с инструментами параметрического проектирования Rhinoceros и Grasshopper, так как, наряду с открытостью программного кода, доступностью и дешевизной, они допускают возможность непрограммистам создавать высокотехнологичные дизайны изделий и базы моделей.

В пользу такого выбора представим сравнительные характеристики редакторов компьютерной графики, табл.1.1. Из таблицы 1.1 следует, что Rhinoceros-3D использует программное обеспечение для трехмерного NURBS-Это разработки Robert McNeel & Associates, моделирования. преимущественно В промышленном дизайне, практикуются архитектуре, корабельном проектировании, ювелирном и автомобильном дизайне, в САD/САМ проектировании, быстром прототипировании, реверсивной разработке, а также в мультимедиа и графическом дизайне.

Таблица 1.1 Сравнительные характеристики редакторов компьютерной графики

ПО Разработчик Лицензия, OCОсобенности руб Autodesk Maya Autodesk 107 000 Windows, Открытая Mac OS, архитектура (легко Linux оптимизировать непрофессиональном у программисту) **ZBrush** 25 000 Windows **Pixologic** Имитация «лепки» 3Dскульптуры редактор Blender Windows, Доступный и простой The Blender 0 foundation Mac OS, 3D-редактор Linux

AutoCAD 3D	Autodesk	267 000	Windows, Mac OS, Android	Программа для проектирования со встроенными инструментами полигонального моделирования и 2D-параметризации
Autodesk 3DS MAX	Autodesk	102 000	Windows, Mac OS, Linux	3D-редактор для полигонального и NURBS-моделирования и текстурирования 3D-объектов
Cinema 4D	Maxon	120 000	Windows, Mac OS	Многофункциональна я, для рендера, встроенная поддержка русского языка
Rhinoceros 3D	McNeel&Associates	25 000	Windows, Mac OS	Широкие возможности NURBS-моделирования

Результаты предварительных исследований показывают, что плагины Rhinoceros эффективны для моделирования, связки с другими программами, анимации, работы в VR и AR. Задача работы - использовать подачи проекта, программирования Grasshopper, визуального который разработан язык McNeel&Associates как и трехмерный редактор Rhinoceros CAD, что технически удобно. Кроме того, Grasshopper имеет открытый программный код; а Rhinoceros CAD предоставляет широкие возможности NURBS-моделирования, в отличие от большинства твердотельных 3D-редакторов, таких как, например, Blender, ЧТО существенно экономит ресурсы при высокой сложности проектирования, в том числе криволинейных поверхностей высокого порядка. В соответствии с целью диссертации в следующем разделе обратимся к характеристике материалов с реконфигурируемой структурой в науке, технике и производстве товаров народного потребления.

1.3 Место материалов с реконфигурируемой структурой в науке, технике и производстве товаров народного потребления. Методы и инструменты исследования

Развитие естественных наук показывает нам эволюцию сложных объектов живой и неживой природы, как, своего рода, производных от процессов слияния, деления и преобразования, подпитывая интерес ученых и дизайнеров к биоморфным и топоморфным объектам. Сложные объекты живой природы, претерпевают значительные преобразования под воздействием множества законов в течение всего жизненного цикла, являя собой яркий пример параметрических принципов формообразования в окружающей среде.

Рост плотности и концентрации урбанистической среды, ускорение социальных процессов, необходимость обеспечивать защиту и комфорт при различных стандартах потребления, вынуждает инженеров и дизайнеров к применению новых адаптивных параметрических технологий и материалов.

Решетчатые структуры - ключевая концепция в аддитивном производстве. Они встречаются в природе и часто используются в технике из-за таких привлекательных свойств, как высокое отношение жесткости к плотности и пространственно изменяющееся поведение материала.

Большинство исследований сосредоточено на легких несущих статических моделях, например, в аэрокосмической промышленности или в медицине для производства имплантантов. Такие структуры создают с помощью 3D-печати металлов или полимеров и характеризуются небольшими линейными деформациями.

Динамические решетчатые структуры — новое направление научных исследований. Они характеризуются высокой степенью упругости при больших деформациях за счет геометрии самого материала, что обусловлено отрицательными значениями коэффициента Пуассона.

Динамические решетчатые структуры могут быть воспроизведены с помошью:

- 3D-печати эластомерных материалов (PolyJet, SLA);
- цифровой светодиодной проекции (DLP, CLIP).

Динамические решетчатые структуры применимы для:

- о многоразовых энергопоглощающих устройств;
- о тканеподобных медицинских имплантатов;
- о мягких роботизированных приводов и устройств;
- о безразмерных покрытий, реализуемых в архитектуре, окружающей среде, при ЧС;
- о современных материалов в производстве одежды, обуви, СИЗ (например, при эпидемиях);

Растущий интерес к динамическим решетчатым структурам обусловлен развитием таких актуальных направлений, как «Fashion tech» и «Wearable technologies», связанных с возможностями, которые предоставляют отрасли современные цифровые технологии;

Все чаще анонсируют изделия на основе «умной» наноткани, содержащей натуральные волокна и гибкие сенсоры, реагирующей на освещенность, температуру окружающей среды, состояние человека, характер его деятельности. В обиход входит интеллектуальная спортивная одежда и обувь для диагностики и профилактики.

Технология одежды—спрея разработана специалистами Имперского колледжа Лондона. Из-за доступности и универсальности свойств материалу предрекают большое будущее в разных областях: от моды до медицины.

Одежда (нижнее белье, обувь, аксессуары и др.), напрямую связана с таким понятием, как метаматериалы, которые могут менять свои свойства за счет изменения пространственной структуры. Благодаря им стал реальностью безразмерный текстиль. На основе анализа источников, была выдвинута гипотеза, что некоторые оригами-структуры являются ауксетиками (материалы, имеющие

отрицательные значения коэффициента Пуассона. Термин введен профессором Кеном Эвансом (Ken Evans).

Свойства ауксетиков:

- становятся толще в направлении, перпендикулярном приложенной силе, что обусловлено свойствами отдельных молекул или структурными особенностями материала;
- особые механические свойства (например, значительное поглощение механической энергии и высокое сопротивление разрушению).

Конструкция материала с периодическими ячейками в виде «вывернутых» пчелиных сот с отрицательным коэффициентом Пуассона известна еще с 1985 года.

Ауксетиками являются:

- некоторые горные породы и минералы (например, пирит);
- кристаллические материалы: Li, Na, K, Cu и другие;
- углеродные алмазоподобные фазы;
- неуглеродные трубки;
- живые костные ткани;
- определенные варианты полимеров политетрафторэтилена (Gore-Tex);
- бумага;
- органические цепные молекулы (н-парафины);
- некоторые оригами-структуры.

В поисках материалов с подобными свойствами были достигнуты большие успехи. Рейс, Йегер и ван Хекке [47], Саррао и Крэбтри [48] говорят о быстром появлении новых материалов с выдающейся ролью структуры. При этом цифровое производство - важный катализатор этого процесса - позволяет изготавливать конструкции с любой трехмерной (3D) геометрией из разных расходных материалов.

Кристенсен, Кадич, Крафт и Вегенер [49], Пендри [50], Смит и Уилтшир [51] описывают метаматериалы как искусственно созданную материю, приобретающую свои необычные свойства за счет структуры, а не химии.

Лейкс [52] дает всестороннюю оценку отношений коэффициентов Пуассона к поведению и реакции современных материалов при определенных условиях нагрузки.

Зенг [53], Меза, Дас и Грир [54], Эргин, Стенгер, Бреннер, Пендри и Вегенер [55], а также Бюкманн, Кадич, Шиттни и Вегенер [56] указывают на то, что механические свойства обычных материалов существенно ухудшаются со снижением плотности, поскольку их структурные элементы изгибаются под действием приложенной нагрузки, и сообщают о классе материалов с микроархитектурой, которые поддерживают почти постоянную жесткость на единицу массы даже при сверхнизкой плотности.

Однако большинство предлагаемых материалов (также известных как метаматериалы) имеет структуру, которая не может быть реконфигурирована после изготовления, что ограничивает их практическую применимость.

Древнее искусство оригами предоставляет идеальную платформу для исследования реконфигурируемых структур. Сейчас большинство предлагаемых метаматериалов на основе оригами, базируются на двумерных шаблонах складывания, таких как «миура-ори» или «шаблон Рона Реша» [57-65]. Ячеистая структура может быть спроектирована путем наложения их друг на друга [66], или скруткой их в цилиндры [67 - 69]. Кроме того, применяя плагин Снаполоджи [70, 71], могут быть разработаны метаматериалы, собранные из экструдированных кубов [72, 73].

В данной работе рассматриваются инструменты параметрического проектирования с проектной логикой, позволяющей создавать алгоритмы объектов или процессов любой сложности на основе анализа массивов данных разной генерации [74]. Важными свойствами в пользу параметрического подхода, применительно к задачам диссертации являются:

- универсальность проектных принципов: алгоритмы основа проектирования позволяют отказаться от ручного рисования и моделирования, особенно при проектировании и построении сложных поверхностей и органических форм [75];
- **масштабируемость** возможность управлять структурой проекта любой сложности [76];
- адаптивность к факторам внешней среды позволяет создавать объекты, состоящие из групп автономных элементов. Некоторые из этих групп реагируют на влияние внешних факторов изменением свойств, связанных с ними групп и, как следствие, системы в целом. Например, при реакции на перемену силы давления меняется плотность текстуры и рисунок поверхности материала. Динамические изменения параметров обеспечивают тесную связь между проектированием и производством на ЧПУ или 3D-принтере [77].

Одной из задач исследований является разработка методики параметрического проектирования материалов с реконфигурируемой трехмерной структурой, которая включает алгоритм перевода давления стопы в реконфигурируемую поверхность.

В диссертации рассматриваются возможности плагина Grasshopper для работы в среде 3D-моделирования Rhinoceros от компании McNeal. Среда программирования «Rhinoceros» и язык визуального программирования «Grasshopper» позволяют:

- воплотить сложные для понимания идеи с множеством параметров проектирования, переведя их на язык алгоритмов и выразив в наглядной среде моделирования. (Например, мотивом коллекции является ячеистая фрактальная структура, в которой каждый элемент, обладая своим набором параметров, входит в состав другой ячеистой фрактальной структуры, являясь одним из параметров для ее элемента);
- быстро и наглядно внести любое количество изменений, не требуя тиражирования повторяющихся операционных циклов;

- быстро воспроизвести прототипы в материале с использованием аддитивных технологий, например, 3D-печати;
- осуществлять синергизм творческого замысла дизайнера и возможностей цифровых технологий проектирования, в условиях многовариантного нового взгляда на возрастающую роль формы и ее воплощения в современной индустрии моды и промышленности в целом.

Под параметрической моделью понимается геометрическая модель, изменением параметров которой можно получать разные решения дизайна.

Параметризованный чертеж детали содержит множество переменных, представляемых в виде таблицы параметров. Переменными могут быть не только числовые, но и текстовые значения. Они доступны для изменения на любой стадии их использования. Помимо этого, в текстовые строки можно вставлять и числовые значения.

Основное отличие традиционного чертежа от параметрического заключается в следующем:

- традиционный чертеж содержит лишь информацию о составляющих его объектах. Например, для каждого отрезка в файле чертежа хранятся его параметры: координаты начальной и конечной точек. Даже, если два отрезка имеют общую точку, введенную с использованием привязки, информация о координатах этой точки хранится для каждого отрезка независимо. В результате перемещения одного из отрезков их общая точка будет потеряна.
- параметрический чертеж, кроме данных об объектах, содержит информацию о связях между ними и наложенных на объекты ограничениях.

Под связями понимаются зависимости между параметрами объектов. При изменении геометрии может изменяться и текстовая информация, например, содержащая параметры площади и периметры профиля. Работая в параметрическом режиме, можно накладывать различные размерные (линейные, угловые, радиальные и диаметральные) и геометрические (параллельность, перпендикулярность, касание, принадлежность точки к кривой, фиксация точки и

- т. д.) ограничения на объекты модели, а также задавать уравнения и неравенства, определяющие зависимость между параметрами модели.
- процесс создания параметрической модели сводится к генерации «плоского» мастер-чертежа (контура будущего элемента) с последующим проставлением параметрических размеров и созданием модели.

При изменении параметров сборочного чертежа происходит пересчет всех входящих в него деталей. Изменения в чертеж можно вносить без его перечерчивания. При ручном способе изменения одних и тех же параметров в разных файлах чертежей возможны ошибки.

-параметрическую модель можно адаптировать к другому проекту, поддерживающему сходные форматы данных, а также применять для ВІМ-проектирования при соблюдении ряда технических требований.

1.4 Постановка задач исследования

Как следует из вышеизложенного, методы и инструменты параметрического проектирования материалов с реконфигурируемой трехмерной структурой — перспективное направление в массовом производстве товаров народного потребления.

Таким образом, эксперименты настоящей диссертации должны быть направлены на:

- проведение теоретических исследований в области закономерностей формообразования реконфигурируемых трехмерных материалов;
- анализ и разработку нодовых скриптов «заполнения кругами» поверхности и контура на основе рисунка и без него;
- создание нодовых скриптов экспериментальных материалов с реконфигурируемой трехмерной структурой;

- разработку:
- базового параметрического алгоритма перевода давления стопы в структуру стельки или подошвы, плотность рисунка которой зависит от силы давления стопы в этой области;
 - альтернативных вариантов базового скрипта;
 - анализ ассортимента полимерных материалов для 3D-печати и оценку возможности их применения в обувном производстве;
 - создание прототипов экспериментальных материалов с реконфигурируемой трехмерной структурой;
 - проведение испытаний для определения физико-механических свойств прототипов экспериментальных материалов с реконфигурируемой трехмерной структурой, напечатанных на 3d-принтере из разных видов филаментов и их сочетаний;
 - анализ физико-механических свойств прототипов экспериментальных материалов с реконфигурируемой трехмерной структурой, напечатанных на 3d-принтере из разных видов филаментов и их сочетаний;
 - разработку общего плана коммерциализации методики параметрического проектирования экспериментальных материалов и быстрой 3D-печати индивидуальной обуви из этих материалов в формате мобильных салонов, базовый технологический цикл и цикл его расширения.

2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАЗРАБОТКИ АЛГОРИТМОВ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ МАТЕРИАЛОВ С РЕКОНФИГУРИРУЕМОЙ ТРЕХМЕРНОЙ СТРУКТУРОЙ И ДЕТАЛЕЙ ОБУВИ ИЗ НИХ

2.1 Оценка анатомо-функциональных свойств стоп

Как отмечено в разделе 1.2 диссертации проектирование обуви в 3D-среде определяют:

- выбор базового объекта (колодка/стопа);
- получение геометрической информации о базовом объекте (сканирование/обмеры);
- преобразование геометрической информации в цифровую 3D-модель. Исходным объектом в ходе проектирования является обувная колодка, соответствующая размерам и форме стопы. Процесс формообразования колодки, определяет обеспечение комфортности и функциональности разрабатываемой конструкции изделия. Современная колодка, с одной стороны, это инженернотехническая конструкция с унифицированными по группам с учетом рода и вида обуви, а также приподнятости пяточной части формами, с другой стилизованная стопа с определенной эстетической характеристикой.

Последнее вызывает необходимость представить анатомо-физиологические и функциональные характеристики стопы.

Внешняя форма стопы определяется размерами и взаимным расположением её костей, мышц и связок. Различают следующие поверхности стопы: тыльную (верхнюю); подошвенную (нижнюю или плантарную); медиальную (внутреннюю) - расположенную ближе к оси симметрии тела человека; латеральную (наружную) — расположенную дальше от этой оси; заднюю.

Основу стопы составляет ее скелет, состоящий из 26 костей (рис.2.1).

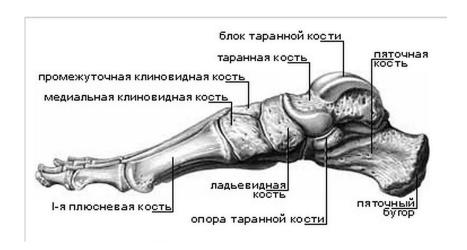


Рисунок 2.1 — Кости правой стопы человека. Вид с медиальной стороны — сбоку изнутри, (из открытых источников Интернет)

При описании состояния стопы в ней выделяют зоны: предплюсну, включающую таранную, пяточную, кубовидную, ладьевидную и 3 клиновидных кости; плюсну, объединяющую 5 плюсневых костей; пальцы.

Также часто используется условное деление стопы на задний, средний и передний отделы. Задний отдел стопы представлен таранной и пяточной костими. Таранная кость играет роль амортизатора. Через центр таранной кости проходит ось вращения голеностопного сустава. На бугор пяточной кости опирается задний отдел стопы. Средний отдел стопы состоит из ладьевидной, кубовидной и 3-х клиновидных костей. Передний отдел стопы включает 5 трубчатых плюсневых костей и 5. фаланги пальцев. І-й (первый) палец стопы имеет только 2 фаланги основную и ногтевую. Остальные пальцы состоят из 3-х фаланг - основной, промежуточной и ногтевой. Под головкой І-й плюсневой кости располагаются две сесамовидные косточки. Плюсневые кости заканчиваются головками шаровидной формы, соединяющимися с основными фалангами пальцев и служащими точками опоры стопы. Соединяясь, кости стопы образуют 137 суставов, основными из которых являются голеностопный, подтаранный (таранно-пяточно-ладьевидный),

Шопара (объединяющий пяточно-кубовидный и таранно-ладьевидный суставы), Лисфранка (между костями предплюсны и плюсны), плюснефаланговые, межфаланговые.

Голеностопный сустав участвует в подошвенном сгибании и разгибании Сгибание и разгибание также происходят в (тыльного сгибания) стопы. плюснефаланговых и межфаланговых суставах. В подтаранном выполняются следующие движения: супинация и пронация стопы - разворот её, соответственно, внутрь (медиальной поверхностью вверх) и наружу (медиальной поверхностью вниз); приведение и отведение стопы - смещение её переднего отдела, соответственно, к медиальной плоскости и от неё. незначительного приведения и отведения также обладают плюснефаланговые суставы. Обычно движения происходят не в одном из перечисленных суставов, а одновременно в нескольких из них. Другие суставы стопы менее подвижны. Кости стопы, объединённые в суставах и укреплённые в них связками, образуют сводчатую форму стопы человека. Особое значение в поддержании этой формы имеют связки, сухожилия мышц, подошвенный апоневроз. Наиболее широкое место в переднем отделе стопы, которое условно называют линией пучков, соответствует расположению плюснефаланговых суставов. C стороны это внутренний пучок - сочленение І-й плюсневой кости с основной фалангой большого пальца, с латеральной стороны – наружный пучок – сочленение V-й плюсневой кости с основной фалангой мизинца.

На тыльной поверхности стопы различают наиболее выпуклую её область — подъём стопы и область перехода в голень — сгиб стопы. На медиальной поверхности стопы контурируется внутренняя лодыжка — отросток большеберцовой кости; на латеральной — наружная лодыжка — отросток малоберцовой кости.

Характеризуя форму стопы, в ней условно выделяют три свода: два продольных (внутренний и наружный) и один поперечный (рис.2.2).

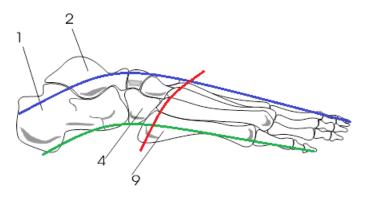


Рисунок 2.2. Своды стопы: продольный наружный (синяя линия); продольный внутренний (зелёная линия); поперечный (красная линия) (из открытых источников Интернет).

Внутренний продольный свод образован пяточной, таранной, ладьевидной и клиновидными костями, а также І-й, ІІ-й и ІІІ-й плюсневыми костями. Его вершина находится в области нижнего края таранно-ладьевидного сустава. Наружный продольный свод образован пяточной, кубовидной, IV-й и V-й плюсневыми костями. Вершина этого свода расположена в области нижнего края пяточно-кубовидного сустава. Поперечный свод формируется соответствующим расположением оснований и тел плюсневых костей. Такое строение стопы предназначено для реализации её основных функций, благодаря которым роль стопы становится крайне значимой для выполнения таких локомоций, как стояние, ходьба, бег. Их качество зависит от состояния функций, которыми обладает стопа: опорной, балансировочной, амортизационной, толчковой, сенсорной. Опорная функция заключается в способности стопы воспринимать нагрузку тела и обеспечивается в большей степени предплюсневым (в т.ч. пяточным) и плюсневым отделами, в меньшей – пальцами. Примером её нарушения могут быть травмы стопы, деформации, нарушение целостности кожных покровов и другие факторы, вызывающие боль или неустойчивость при опоре на стопу. В этом случае пациент вынужден компенсаторно смещать нагрузку на другую – более опороспособную конечность, чтобы сохранить равновесие в вертикальной позе. При этом главный вектор нагрузки также сместится в сторону более опороспособной конечности. В результате запас

устойчивости человека в такой позе будет снижен, и тогда большее значение для сохранения равновесия будет иметь балансировочная функция стопы. Балансировочная функция заключается в перераспределении опоры на стопу таким образом, чтобы удержать проекцию общего центра масс в пределах стопы). опорного контура (опорной поверхности Благодаря этому минимизируется плечо главного вектора нагрузки, а, значит, и момент силы, направленный опрокидывание пациента. Балансировочная функция на достигается преимущественно за счет супинационных и пронационных движений стопы. Этому способствуют следующие факторы: возможность движений в подтаранном и поперечном суставах пред-плюсны; веерообразное строение стопы с лучами, включающими предплюсневые и плюсневые кости, фаланги пальцев; подвижность плюсневых костей. При балансировке крайние плюсневые кости смещаются относительно ІІ-й плюсневой кости - самой малоподвижной из них. Амортизационная (рессорная) функция выражается в способности стопы упруго распластываться под нагрузкой и возвращаться в исходное состояние после её снятия. Она обеспечивается арочным расположением костей стопы, упругим соединением их мышцами и связками. Особую роль в этом играет подошвенный апоневроз. Эта функция направлена на снижение перегрузок стопы при ходьбе, прыжках и беге, что важно для нормальной работы суставов нижней конечности, таза, позвоночника. Толчковая функция стопы участвует в формировании импульса силы для отталкивания ногой от опоры и придания ускорения телу. Особое участие в этом принимают икроножная мышца и пяточно-подошвенная фасция. Сенсорная функция участвует в передаче информации о наклоне и рельефе опорной поверхности, характере её воздействия на стопу. Тактильные и проприоцептивные анализаторы участвуют в обеспечении этой функции, необходимой работы ДЛЯ согласованной механизмов регуляции позы, формирования правильной структуры локомоций, предотвращения травматизации стопы. Благодаря наличию этой функции пациент ощущает локальные перегрузки плантарной поверхности стопы и может предотвратить её травмирование

смещением нагрузки на другие отделы этой стопы или на другую конечность, либо ограничением времени опоры на поражённую стопу. Если же сенсорная функция нарушена, то критические пере-грузки пациент может не заметить. Например, это часто происходит при вялых параличах нижних конечностей, при нейропатии нижних конечностей вследствие диабета. Такая ситуация нередко приводит к появлению трудно заживляемых язв в зонах локальных перегрузок плантарной поверхности стопы, а иногда и к её ампутации. Сенсорная функция имеет также большое значение для реализации балансировочной функции стопы. Все эти 5 функций зависимы друг от друга. Каждая из них в большей или меньшей степени страдает при различных патологиях стопы, проявляющихся в изменении ее формы, подвижности в суставах, тонуса и силы мышц, покровов и других тканей

стопы, её нейрорецепторного аппарата. На рис. 2.3 изображен компьютерный снимок плантарных поверхностей стоп без видимых патологий.

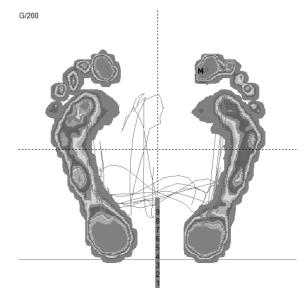


Рисунок 2.3. Компьютерный снимок плантарной поверхности стоп пациента без видимых патологий (из архива В.А. Сергеева)

На рис. 2.4, а изображен компьютерный снимок плантарной поверхности стоп пациента с распластанностью переднего отдела и Hallux valgus третьей степени. Распластанность переднего отдела стопы образуется вследствие приведения и наружной ротации I плюсневой кости или веерообразного

расхождения плюсневых костей. Вследствие этого происходит опущение головок средних плюсневых костей.

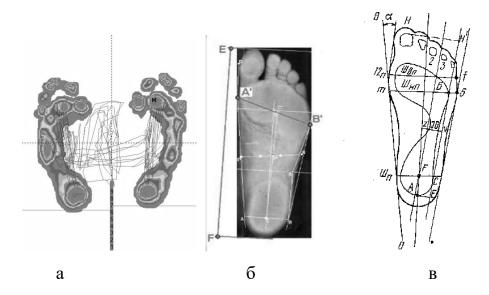


Рисунок 2.4. Компьютерный снимок плантарной поверхности стоп пациента с распластанностью переднего отдела и Hallux valgus третьей степени, (а - из архива В.А. Сергеева), схемы разметки: подометрического снимка плантарной поверхности стопы (б), плантограммы стопы (в)

Результатом этого является перегрузка головок средних плюсневых костей и появление гиперкератоза (омозолелости) и натоптышей на подошвенной поверхности стоп в области этих головок.

В зависимости от выраженности патологических изменений выделяют 3 степени тяжести поперечного плоскостопия и Hallux valgus и 2 формы деформации переднего При 1-ой степени отдела стопы. поперечного плоскостопия распластанности переднего отдела стопы отмечается его незначительное расширение в области пучков, небольшой экзостоз головки 1-ой плюсневой кости, иногда с явлениями бурсита. Коэффициент распластанности переднего отдела стопы – k рассчитывается как отношение ширины стопы на уровне пучков к длине стопы (рис. 2.4, б).

 α - угол отклонения І-го пальца от 11^0 до 29^0 , деформация нефиксированная (рис. 2.4, в);

k - коэффициент распластанности переднего отела стопы возрастает до 0,3-0,40.

При 2-ой степени распластанности переднего отдела стопы анатомические изменения выражены значительно, включая значительное расширение переднего отдела стопы, выраженный экзостоз головки І-ой плюсневой кости, опущение головок средних плюсневых костей, истончение подкожно-жировой клетчатки, болезненные гиперкератозы под головками средних плюсневых костей.

 α - угол отклонения I-го пальца от 30^{0} до 49^{0} .

k - коэффициент распластанности переднего отела стопы равен 0,41-0,45.

При 3-й степени распластанности переднего отдела стопы максимально выражены все анатомические и статико-динамические нарушения, в т.ч. расширение переднего отдела стопы, бурситы в области увеличенной головки 1-й плюсневой кости, выраженные гиперкератозы под головками средних плюсневых костей.

 α - угол отклонения I-го пальца более 50^{0} ;

k - коэффициент распластанности переднего отела стопы более 0,46.

Значимым критерием комфортности обуви является распределение динамического давления по плантарной поверхности стопы. Для получения соответствующей оценки комфортности обуви следует рассматривать работу системы «стопа-обувь-опорная поверхность».

Функциональная диагностика в настоящее время является одним из основных направлений в системе здравоохранения, которое позволяет не только своевременно и правильно установить диагноз, но и оценить эффективность применения лечебно-оздоровительных мероприятий.

Характер распределения веса тела человека на голеностоп и стопу позволяет определить компьютерная подометрия — диагностика оказываемой нагрузки. Для определения распределения давления применяется бароподометрическая платформа WIN-POD MEDICAPTEURS, в которой переданный в компьютер снимок стопы, с помощью диагностической программы анализируется графоаналитическим методом [78].

Основные достоинства и функциональные возможности комплекса:

- малое время исследования (1-2 мин);
- автоматическая обработка результата исследования;
- возможность сравнения результатов различных исследований, как в графической, так и в параметрической форме;
- формирование отчёта по результатам исследования, содержащего всю необходимую графическую и цифровую информацию.

Анализ распределения давления на плантарной поверхности стопы проводится поэтапно: заполняются данные об обследуемом. Далее он становится на платформу так, чтобы масса тела была равномерно распределена на обе ноги, после чего считывается величина давления на опору. Результатом компьютерной подометрии является снимок отделов стопы, испытывающих разные степени нагрузки, которые на экране монитора выделяются цветовыми и цифровыми значениями (рис. 2.5).

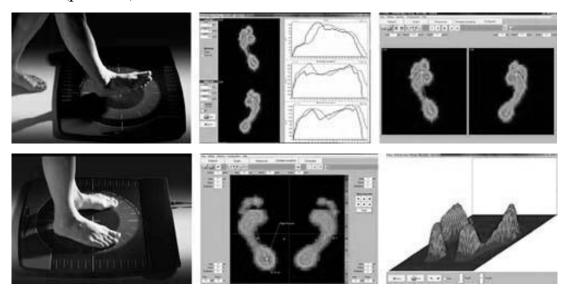


Рисунок 2.5 — Снимки стопы на экране монитора (архив кафедры художественного моделирования, конструирования и технологии изделий из кожи ФГБОУ ВО РГУ им. А.Н. Косыгина)

Метод функциональной диагностики позволяет получить данные для каждого исследуемого индивидуально. Это обеспечивает возможность

определить особенности деформации стоп отдельно взятого пациента, которые найдут отражение в конструкции корригирующей или профилактической стельки.

2.2. Моделирование структур с заданными параметрами в среде Rhinoceros

Нодовый скрипт перевода давления стопы в структуру стельки или подошвы, плотность рисунка которой зависит от силы давления стопы в той или иной ее области, основан на процессе перевода изображения плантограммы, загруженной в формате черно-белого рисунка, в полигональную сетку с ячейками той или иной конфигурации.

Основные размерные признаки стопы, учитываемые при проектировании: Д— длина стопы, Швп и Шнп - ширина по внутреннему и наружному пучкам; Ш — ширина пятки. Поперечные размеры стопы связаны с ее длиной прямолинейной зависимостью: Ш=0,24Д + 32 (усредненная зависимость для мужчин и женщин), где Д — длина стопы в мм; Ш — ширина стопы по наружному пучку в мм. Кроме того, при построении учитываются изменения размеров стопы при движении. Исследования Ю. П. Зыбина показали, что при нагружении длина стопы увеличивается в среднем на 2 - 3 мм, ширина - на 2,5. При изменении положения стопы в процессе ходьбы и бега увеличивается ее длина на 5 - 11 мм.

Перевести черно-белый рисунок плантограмы в полигональную сетку в грассхоппере можно разными способами, в зависимости от поставленных задач. Общий принцип — это заполнение геометрическими примитивами контура или поверхности на основе изображения. Представим заполнение кругами контура по заданному графическому изображению, который основывается на широко применяемом в проектировании методе триангуляции Делоне.

Форма ячеек полигональной сетки может быть любой, как и алгоритм ее создания и трансформации. Геометрическая логика базового 2D-паттерна

реализуется, в частности, функцией триангуляции. Триангуляцией называют процесс и результат построения конечного числа не пересекающих друг друга треугольников, стыкующихся между собой по общим сторонам. Триангуляция Делоне — оптимальный алгоритм аппроксимации, если внутри описанной вокруг любого треугольника окружности отсутствуют вершины других треугольников. Она уникальна, если никакие четыре вершины не лежат на одной окружности. В общем виде триангуляция Делоне строится по заданному набору двумерных точек. Для произвольной точки находят ближайшую и проводят между ними ребро, на котором строится треугольник, третья вершина которого лежит слева или справа от него (рис. 2.6).

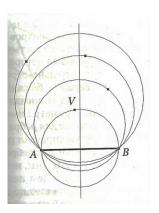


Рисунок 2.6. Построение триангуляции Делоне [79]

Через вершины A, B и любую, не лежащую с ними на одной прямой вершину V можно провести окружность, центр которой находится на пересечении перпендикуляров, проведенных к серединам отрезков AB, AV и BV. Вершины A, В и V описываются двумерными радиус-векторами:

$$a=[x_a+y_a]^t$$

$$b=[x_b+y_b]^t$$

$$v=[x_v+y_v]^t$$

Построим прямую t, перпендикулярную отрезку AB, проходящую через его середину (рис. 2.7):

$$\begin{bmatrix} \mathbf{x} \\ \mathbf{y} \end{bmatrix} = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} x_a + x_b \\ y_a + y_b \end{bmatrix} + t \begin{bmatrix} y_a - y_b \\ x_b - x_a \end{bmatrix},$$

Рисунок 2.7. Уравнение построения прямой t [79]

Построим прямую w, проходящую перпендикулярно через середину отрезка VB рис. 2.8:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} x_v + x_b \\ y_v + y_b \end{bmatrix} + w \begin{bmatrix} y_v - y_b \\ x_b - x_v \end{bmatrix},$$

Рисунок 2.8. Уравнение построения прямой w [79]

В точке пересечения прямых t и w правые и левые части выражений равны. Параметр t – положение центра окружности, проходящей через вершины A, B и V и лежащего на перпендикуляре к середине отрезка AB, найдем, решив систему уравнений (рис. 2.9):

$$\frac{1}{2}(x_a + x_b) + t(y_a - y_b) = \frac{1}{2}(x_v + x_b) + w(y_v - y_b),$$

$$\frac{1}{2}(y_a + y_b) + t(x_b - x_a) = \frac{1}{2}(y_v + y_b) + w(x_b - x_v)$$

Рисунок 2.9. Уравнение нахождения положения центра окружности на перпендикуляре к отрезку AB [79]

Параметр t равен (рис. 2.10):

$$t = \frac{1}{2} \frac{(x_v - x_b)(x_v - x_a) + (y_v - y_b)(y_v - y_a)}{(y_v - y_b)(x_b - x_a) - (x_v - x_b)(y_b - y_a)}.$$

Рисунок 2.10. Параметр t центра окружности, проходящей через вершины A, B и V [79]

Для центра окружности, расположенного в середине отрезка AB t=0, слева от центра AB t > 0, справа от центра AB t < 0. Если выбрать третьей вершиной V треугольник Делоне, то соответствующая ей окружность не будет содержать больше вершин с той же стороны от AB. Такая вершина называется ближайшей. В общем случае для ребра AB можно найти две ближайшие вершины справа и слева и построить два смежных треугольника Делоне. Если для ребра все заданные точки лежат только с одной стороны, то такое ребро называется граничным. Алгоритм триангуляции Делоне работает до тех пор, пока для каждого внутреннего ребра не будет построено два смежных треугольника, а для каждого граничного — один [79-81]. В результате чего получится триангуляция внутренней области выпуклого многоугольника, содержащего все заданные вершины (рис. 2.11):



Рисунок 2.11. Триангуляция внутренней области выпуклого многоугольника, содержащего все заданные вершины [80].

Триангуляцию Делоне можно получить путем перестраивания треугольников, не удовлетворяющих условию Делоне (рис. 2.12). На основе вышеописанного принципа действуют алгоритмы заполнения кругами, практических областях. Подобные применяемые многих алгоритмы используют для обработки исходного изображения с созданием разного рода градиентов из геометрических примитивов (кругов, линий),

дающих выразительные эффекты и возможность производства продукта

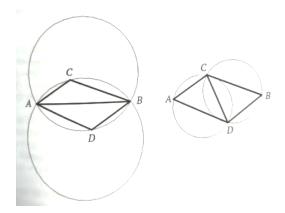


Рисунок 2.12. Слева – пара треугольников, не удовлетворяющая условию Делоне, справа - удовлетворяющая [79].

с измененным дизайном, например, путем резки из металла на ЧПУ, распечатки на 3D-принтере или лазерной гравировкой на металлической поверхности (рис. 2.13).

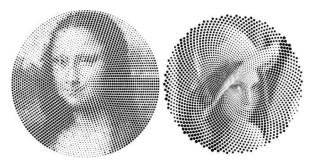


Рисунок 2.13. Пример практического применения алгоритмов заполнения кругами (из открытых источников Интернет)

Рассмотрим некоторые примеры использования изображений для создания алгоритмов заполнения по кругу в Grasshopper [82-85].

Пример алгоритма заполнения кругами на основе изображения (рис. 2.14). Пользователь предоставляет команде некие данные, она их обрабатывает и выдаёт результат. Исходные данные, поданные на «входы» («Inputs»), обрабатываются командой и выводятся через «выходы» («Outputs»). Собственно команду предоставляет «Capsule» («Капсула»). По умолчанию на капсуле расположена надпись с названием команды, которую она выполняет.

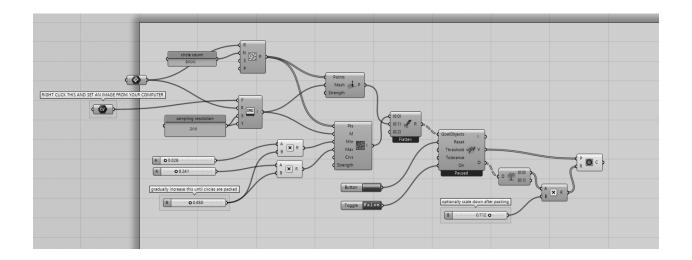


Рисунок 2.14. Нодовый скрипт заполнения плоского изображения кругами (скриншот экрана)

Кроме того, необходимо разделять «параметры» - ноды с одним входом и одним выходом, содержащие, например, геометрические примитивы; и «компоненты» - ноды, у которых для данных разного типа может быть множество входов и выходов, однако существуют компоненты, к одному входу которых могут подключаться данные разного типа. Поэтому, для предвидения и устранения возможных ошибок в работе как отдельных команд, так и алгоритма в целом, важно понимать, какой тип данных на какой вход поступает, какие операции над ними выполняются и какой тип данных получается на выходе.

С этой целью рассмотрим по нодам основные блоки на примере алгоритма заполнения изображения кругами. Тип данных указывается в круглых скобках после названия входа/выхода нода и его перевода. Для облегчения понимания графического отображения алгоритмов, ноды, которые появляются в описании впервые, иллюстрируются соответствующими им рисунками. В компонент «File Path» — «путь к файлу» загружаются изображения, в данном случае, сканы компьютерных снимков плантарных поверхностей стоп в форматах jpeg, bmp, png (рис. 2.15).



Рисунок 2.15. Компонент «File Path» (скриншот экрана)

Кроме исходного изображения в среде Rhino необходимо провести полигональную границу, в данном случае это будет прямоугольник, характеристики которого в среде Rhino подгружаются на вход параметра «Rectangle» - «прямоугольник» (рис. 2.16).



Рисунок 2.16. Компонент «Rectangle» (скриншот экрана)

Компонент «File Path» подключается ко входу «F» компонента «Import Image» — «импорт изображения» на рис. 2.17, который импортирует данные изображений в форматах bmp, jpg или png.

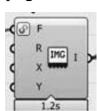


Рисунок 2.17. Компонент «Іmport Image» (скриншот экрана)

При этом входными данными (слева) являются:

- «F» -«File» «файл» расположение файла изображения;
- «R» -«Rectangle» «прямоугольник» (тип: геометрия) параметр прямоугольника набор данных прямоугольника из параметра «Rectangle»;
- «Х» «Х Samples» (тип: целое число) количество выборок вдоль направления изображения X в данном случае 200;

• «Y» - Y Samples (тип: целое число) - количество выборок вдоль направления изображения Y – в данном случае 200, а выходными данными (справа) будут представления изображения в виде сетки.

Сетки в Rhino состоят исключительно из треугольников и квадратов, т.е. содержат массивы вершин и граней. Таким образом, подключив компонент «путь к файлу» ко входу «file» компонента «Import Image», на выходе компонента «Import Image» мы получаем набор данных геометрии сетки, построенной на изображении.

Данные компонента «Rectangle» подключаются ко входу «R» компонента «Populate 2D (Pop2D)» - «популяция 2D» на рис. 2.18 и заполняет двухмерную область (в данном случае прямоугольник) точками.



Рисунок 2.18. Компонент «Populate 2D (Pop2D)» (скриншот экрана)

Входные данные (слева):

- «R» «Rectangle» «прямоугольник» (тип: геометрия);
- «N» «Number» количество заполняющих точек (тип: целое число);
- «S» случайное начальное число для вставки вводить необязательно, задано значение по умолчанию;
- «Р» «points» ранее существовавшая популяция вводить необязательно. Выходные данные (справа):
- «Р» «points» совокупность заполняющих точек (тип: координаты списком).

Полученные точки подключаются ко входам компонентов «On mesh» (рис. 2.19) и «Image circles» (рис. 2.20). «On mesh» - «на сетке» -компонент сохраняет точку на заданной сетке.

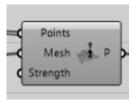


Рисунок 2.19. Компонент «On mesh» (скриншот экрана)

Входные данные (слева):

- «Points» «точки», куда входят результирующие данные компонента «Populate 2D» (тип: точки);
- «Mesh» «сетка», куда входят результирующие данные компонента «Іmport Іmage», (тип: геометрия);
 - «Strength» «сила» числовой коэффициент, необязательный.

Выходные данные (справа):

• «Р» – «точки» - (тип: общие данные);

В результате работы компонента «On mesh» заполняющие точки привязываются к исходному рисунку.

Компонент «Image circles» - «изображение кругами» (рис. 2.20) заполняет загруженное изображение кругами, диаметр которых меняется соответственно цветам изображения.

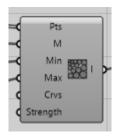


Рисунок 2.20. Компонент «Image circles» (скриншот экрана)

Входные данные (слева):

• «Pts» - «Points» – «точки» - результирующие данные компонента «Populate 2D»;

- «М» «Mesh» «сетка» цветная сетка результирующие данные компонента «Import Image»;
- «Міп» «минимум» наименьший радиус окружности (число) в данном случае результирующие данные компонента «Multiplication» (рис. 2.21) «математическое умножение», умножающего произвольное значение 0,028, заданное первым компонентом «Number slider», и плавающим



Рисунок 2.21. Компонент «Multiplication» (скриншот экрана)

значением второго компонента «Number slider» (рис. 2.22), увеличивающимся при работе алгоритма;

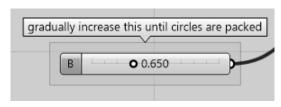


Рисунок 2.22. Компонент «Number slider» с «плавающим» значением (скриншот экрана)

- «Мах» «максимум» наибольший радиус окружности (число) результирующие данные компонента «Multiplication» «математическое умножение», умножающего произвольное значение 0,241 заданное первым компонентом «Number slider» и плавающим значением второго компонента «Number slider», увеличивающимся при работе алгоритма;
 - «Crvs» «Curves» «кривые» в данном случае не заданы;
- «Strength» «сила» числовой коэффициент, в данном случае не задан.

Выходные данные (справа): круги на изображении (тип: общие данные). Компонент «Entwine» - «вплетать» (рис. 2.23) объединяет в один список разные потоки данных.

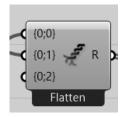


Рисунок 2.23. Компонент «Entwine» (скриншот экрана)

Входящие данные (слева):

((0;0))», ((0;1))», ((0;2))» (тип: общие данные) - три потока данных;

В нашем случае на входе « $\{0;0\}$ » подключаются выходные данные компонента «Image circles», а на входе « $\{0;1\}$ » - выходные данные компонента «On mesh».

Выходные данные (справа): «R» - «result» - результат объединения потоков данных — список входных данных входа «Goal Objects» компонента «Solver», плагина симуляции физических свойств «Kangaroo2»:

«Solver» - «решатель» (рис. 2.24) - компонент, в котором целевые объекты объединяются и применяются в движении.



Рисунок 2.24. Компонент «Solver» (скриншот экрана)

Входные данные (слева):

- «Goal objects» «целевые объекты» (тип: общие данные), в данном случае выходные данные компонента «Entwine»;
- «Reset» «сброс» (тип: логическое значение) подключается компонент «Вutton» кнопка переключения (рис. 2.25);

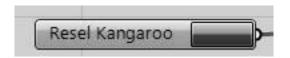


Рисунок 2.25. Компонент «Вutton» (кнопка для перезагрузки компонента Kangaroo, скриншот экрана)

- «Threshold» жесткий сброс (полностью перестраивает список частиц и индексацию) пороговое значение (тип: число) компонент остановится, когда среднее количество движений будет меньше этого числа (по умолчанию 15) необязательный;
- «Tolerance» допуск (тип: число) точки, расположенные ближе этого расстояния, будут объединены в единую частицу необязательный;
- «Оп» «включен» (тип: логическое значение) если значение «true», то «Капдагоо» продолжит выполнение итерации до достижения заданного порогового значения (рис. 2.26);



Рисунок 2.26. Компонент «Boolean toggle» (кнопка переключения значений булевой логики - скриншот экрана)

Выходные данные (справа):

- «I» «Integer» (тип: целое число) количество итераций в данном случае не используем;
 - «V» «Points» (тип: точки) входные данные для компонента «Circle»;
 - «О» (тип: общие данные) дерево вывода данных целевой функции, которое в данном случае служит входными данными для компонента «Explode Tree».
 - «Explode Tree» «взорвать дерево» (рис. 2.27) извлекает ветви данных из дерева данных.



Рисунок 2.27. Компонент «Explode Tree» (скриншот экрана)

Входные данные (слева): «D» - «Data» - данные для разбиения (тип: общие данные);

Выходы ветвей данных (в нашем случае используется только выход « $\{0;0\}$ »). Данные являются входными (вход «A») компонента «Multiplication» - «математическое умножение».

Входные данные:

- «А» первый множитель в данном случае выходные данные выхода « $\{0;0\}$ » компонента «Explode Tree»;
- «В» второй множитель в данном случае плавающее значение компонента «Number slider», уменьшающееся при работе алгоритма.

«Circle» - «окружность» (рис. 2.28) - компонент построения окружностей по заданным центрами радиусам.

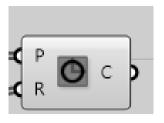


Рисунок 2.28. Компонент «Circle» (скриншот экрана)

Входные данные (слева):

- «Р» «points» точки центы окружностей в данном случае ко входу подключаются выходные данные выхода «V» компонента «Solver»;
- «R» «radius» радиусы в данном случае к входу подключаются выходные данные компонента «Multiplication». Результат работы компонента построение окружностей.

Результат работы алгоритма — «заполнение кругами» изображения в режиме реального времени (рис. 2.29). Алгоритм на рис. 2.29 заполняет кругами двумерные изображения, но круги компонуются с небольшим краевым пересечением. Возможны также вариации алгоритма для заполнения кругами криволинейной поверхности и мощения кругами



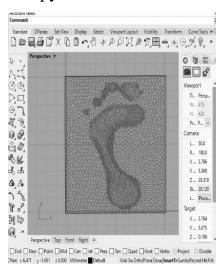


Рисунок 2.29. Исходное изображение и результат применения скрипта (скриншот экрана)

замкнутого контура без краевого пересечения элементов. На рис. 2.30 показан пример работы алгоритма заполнения кругами криволинейной поверхности.

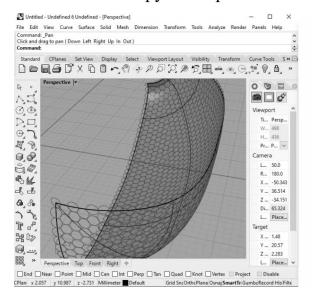


Рисунок 2.30. Заполнение кругами фрагмента криволинейной поверхности в окне Rhino (скриншот экрана)

Графически алгоритм представлен на рис. 2.31, из которого видно основное отличие от алгоритма (рис. 2.30), в данном случае входящим параметром для преобразований служит не плоский рисунок, а криволинейная поверхность, проведенная в среде Rhino и загруженная в параметр «Surface».

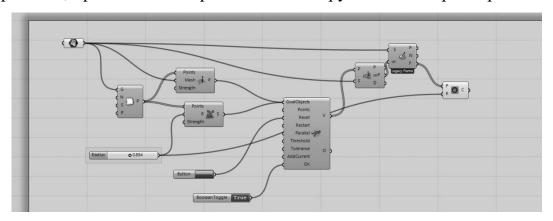


Рисунок 2.31. Нодовый скрипт заполнения кругами фрагмента криволинейной поверхности (скриншот экрана)

Для наглядности на рис. 2.30 показано, что круги пересекают ограничивающую кривую поверхности хаотично, а на рис. 2.32 (пример работы алгоритма заполнения кругами криволинейной поверхности) демонстрируется расположение центров элементов заполнения на ограничивающей кривой заполняемой поверхности.

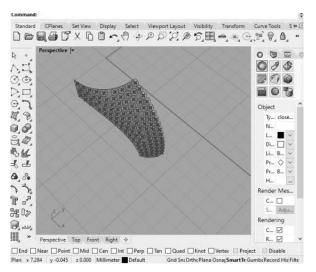


Рисунок 2.32. Заполнение кругами криволинейной поверхности с расположением центров кругов на ограничительной кривой заполняемой поверхности (скриншот экрана)

Графическое представление алгоритма (рис. 2.33) показывает, что входящим параметром служит криволинейная поверхность, из данных которой, извлечены кривые - сетка «Вгер» (универсальный тип представлений геометрических объектов в среде Rhino).

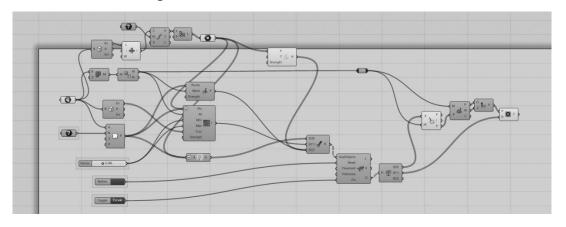


Рисунок 2.33. Нодовый скрипт заполнения кругами криволинейной поверхности с расположением центров кругов на ограничительной кривой заполняемой поверхности (скриншот экрана)

Параметры кривых после обработки дают информацию о центрах кругов заполнения. Значения сетки позволяют заполнить поверхность с помощью компонента «Image circles». Разные типы данных объединяются в один поток компонентом «Entwine» (рис. 2.34), исходящие значения которого подключается к компоненту «Solver» плагина «Kangaroo», симулирующего физические условия, заполнения поверхности кругами.



Рисунок 2.34. Компонент «Entwine» (скриншот экрана)

Можно заполнить кругами плоскость или поверхность без пересечения ограничивающих их кривых, например, как показано на рис. 2.35. При этом круги располагаются в предложенных границах компонентом «Solver» в режиме реального времени по принципу триангуляции.

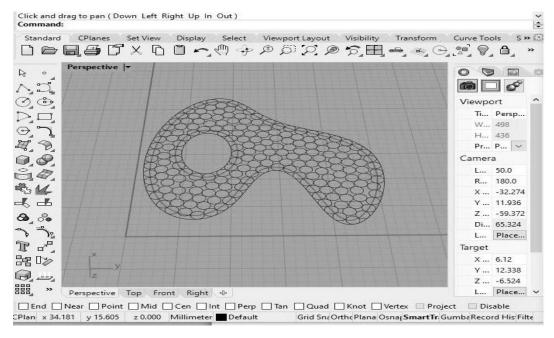


Рисунок 2.35. Заполнение поверхности кругами без пересечения ее границ, (скриншот экрана)

Нодовый скрипт заполнения поверхности кругами без пересечения ее границ (рис. 2.35) представлен на рис. 2.36, из которого видно, что входящим параметром алгоритма снова служит «Surface».

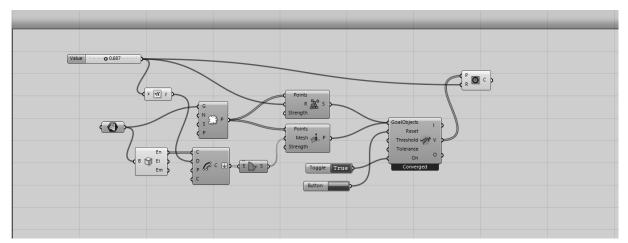


Рисунок 2.36. Нодовый скрипт заполнения поверхности кругами без пересечения ее границ (скриншот экрана)

Параметры поверхности, генерируемой компонентом «Surface», применяются к компонентам «Populate geometry» для получения популяции точек, а также к компоненту «Brep Edges» (рис. 2.37).

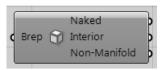


Рисунок 2.37. Компонент «Вгер Edges» (скриншот экрана)

Кривые, полученные из поверхности с помощью компонента «Brep Edges», затем «выдавливаются» компонентом «Offset Curve» (рис. 2.38).

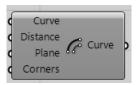


Рисунок 2.38. Компонент «Offset Curve» (скриншот экрана)

При последующей обработке компонентом «Boundary surfaces» (рис. 2.39) это позволяет получить контур заполнения.

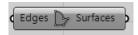


Рисунок 2.39. Компонент «Boundary surfaces» (скриншот экрана)

Контур и выходящие из компонента «Populate geometry» точки, подключаются к компонентам «Sphere collide» (рис. 2.40) и «On mesh», выходные данные которых одновременно подключаются к входу «Goal objects» компонента «Solver» для симуляции физического процесса заполнения кругами.



Рисунок 2.40. Компонент «Sphere collide», (скриншот экрана)

Структура и принцип действия подобны алгоритму на рис. 2.35, отличие лишь в том, что входным параметром служит параметр «Сurve» - «кривая», из которой получают поверхность, подвергаемую «выдавливанию» компонентом «Offset Curve» (рис. 2.41).

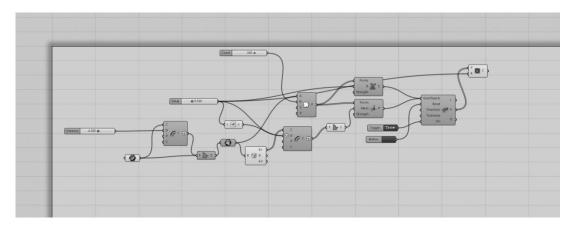


Рисунок 2.41. Нодовый скрипт заполнения узкой поверхности кругами, без пересечения ее границ (скриншот экрана)

На рис. 2.42 показан результат работы скрипта (рис. 2.41), заполняющего узкий контур кругами.



Рисунок 2.42. Заполнение узкой поверхности кругами без пересечения границ (скриншот экрана)

2.3. Разработка нодового скрипта и его альтернативных вариантов перевода силы давления стопы в базовую графическую структуру

Для исследования важно выявить взаимосвязь между зонами повышенного давления на плантарную поверхности и автоматическим построением рисунка стельки или подошвы, плотность которого находилась бы в прямой зависимости от этих зон.

В эксперименте нами было использовано 212 компьютерных снимков (127) женских и 85 мужских) стоп с такими патологиями и дефектами, как: Hallux valgus, вальгус пяток, парез нервов, невропатия, переломы (лодыжек, плюсневой кости, пяточной кости), полая стопа, анкилоз голеностопного сустава, болезнь Хаглунда, укорочение ноги, вызванные различными причинами (гонартроз, дорсалгия, гипотрофия, падагра, избыточный вес, коксартроз, контрактуры суставов различной этиологии, метатазальгия, ревматизм, плантарный фасциит, спорт и танцы (фигурное катание, балет, рукопашный бой, фехтование, футбол, хоккей). Соискатель выражает благодарность кандидату наук, травматологу - ортопеду высшей квалификационной медицинских категории федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный медицинский исследовательский центр высоких медицинских технологий — Центральный военный клинический госпиталь имени А.А. Вишневского» Министерства обороны Российской Федерации (г. Москва) Сергееву В.А. за предоставленную базу компьютерных снимков стоп. Как связующее звено между построением деталей обуви и их реализацией в виде решетчатых структур нами разработан нодовый скрипт перевода силы давления стопы в базовую графическую структуру (рис. 2.43).

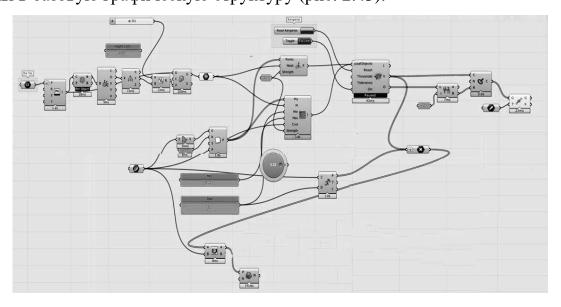


Рисунок 2.43. Нодовый скрипт перевода давления стопы в реконфигурируемую поверхность детали низа обуви (скриншот экрана)

В алгоритме используется рассмотренный выше метод заполнения поверхности кругами в заданных границах. Скрипт разделен на два основных блока, первый из которых показан на рис. 2.44.

Исходный файл загружен как графические данные распределения плантарного давления по пространственной форме следа стоп, на них наложена габаритная сетка. Диагонали ячеек разделены на отрезки. Из точек, соединяющих отрезки, проведены векторы, определяющие направление регулирования высоты по координате Y (знаменатели функции деления). Числитель также регулируется. Результатом функции деления является фактор масштабирования геометрии черно-белого рисунка (регулирование размера). Работа блока 1 завершается получением полигональной сетки.

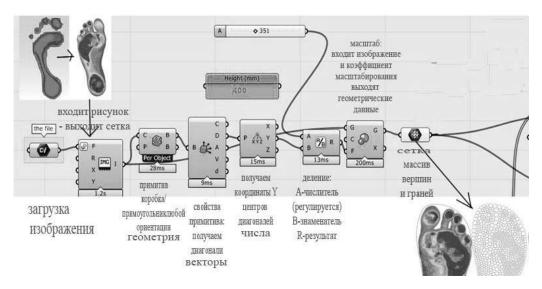


Рисунок 2.44. Блок 1 нодового скрипта перевода давления стопы в реконфигурируемую поверхность детали низа обуви (скриншот экрана)

Теперь рассмотрим последовательность нодов первого блока алгоритма - перевода давления стопы в графическую структуру подошвы/стельки, плотность и величина рисунка которой зависит от приложенного давления (тип данных указывается в круглых скобках после названия входа/выхода нода и его перевода).

«File Path» – «путь к файлу» (рис. 2.45) – загружает ссылки на сканы распределения плантарного давления по пространственной форме следа стоп (тензометрические данные), хранящиеся в форматах jpeg, bmp, png.



Рисунок 2.45. Компонент «File Path» (скриншот экрана)

«Import Image» – «импорт изображения» (рис. 2.46) - импортирует данные изображений форматов bmp, jpg или png.



Рисунок 2.46. Компонент «Іmport Іmage» (скриншот экрана)

Входные данные (слева):

- «F» файл (File) расположение файла изображения;
- «R» «прямоугольник» (Rectangle) набор данных; (Прямоугольники хранятся как параметрические (не nurbs) кривые и, следовательно, не могут быть связаны с объектами из прямоугольных кривых в модели Rhino).
- «Х» X Samples (целое число) количество выборок вдоль направления изображения X;
- «Y» Y Samples (целое число) количество выборок вдоль направления изображения Y.

Выходные данные (справа) – представление изображения в виде сетки.

Таким образом, подключив компонент «путь к файлу» ко входу «file» компонента «импорт изображения», на выходе из компонента «импорт изображения» мы получаем набор геометрии сетки на основе тензометрических

данных стоп, которые подаются на компонент «Bounding Box» «ограничивающая рамка» (рис. 2.47).

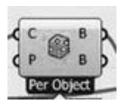


Рисунок 2.47. Компонент «Bounding Box» (скриншот экрана)

Входные данные (слева):

- «С» «Content as list» исходная геометрия;
- «Р» «Plane» ориентированная плоскость;

Выходные данные (справа):

- «В» (вверху справа) «Вох» ограничивающая рамка, ориентированная в мировых координатах;
- «В» (внизу слева) «Вох» ограничивающая рамка, ориентированная в координатах плоскости из входного стека «Plane»;

Таким образом, данные набора геометрии сетки на основе скана стоп, входящие в стек «Content as list» компонента «Bounding Box», на выходе «Box» - ограничивающая рамка, ориентированная в мировых координатах, дают набор данных ее геометрии, поступающий в компонент «Box Properties» - «свойства рамки» (рис. 2.48).



Рисунок 2.48. Компонент «Box Properties» (скриншот экрана)

Входные данные (слева): данные из набора геометрии ограничивающей рамки.

Выходные данные (справа):

- «С» «center» центральные точки базовой геометрии;
- «D» «diagonal» –представляет собой набор 3D-векторов. Векторы взаимозаменяемы с точками, но имеют свой собственный тип параметра;
 - «А» «area» площадь рамки;
 - «V» «volume» объем ограничивающей рамки;
 - «D» «Degeneracy» целочисленное значение;

Таким образом, из данных набора геометрии ограничивающей рамки, входящих в стек «box» компонента «Box Properties» на выходе «diagonal» получаем набор векторов диагоналей ограничивающей рамки, которые поступают на вход компонента «Deconstruct» - «деконструировать» (рис. 2.49) - разбирает данные точек на составные части.

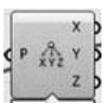


Рисунок 2.49. Компонент «Deconstruct» (скриншот экрана)

Входные данные (слева): наборы точек, точка

Выходные данные (справа): координаты по X или Y или Z.

Таким образом, из данных набора векторов диагоналей ограничивающей рамки, входящего в стек компонента «Deconstruct», получаем множество координат Y векторов диагоналей ограничивающей рамки, которые поступают на входы компонента «Division» - «деление» (рис. 2.50) - математическое деление.



Рисунок 2.50. Компонент «Division» (скриншот экрана)

Входные данные (слева):

• «А» – объект деления (общие данные);

• «В» – делитель (общие данные);

Выходные данные (справа):

• «R» – результат деления (общие данные);

Таким образом, координата Y вектора середины диагонали ограничивающей рамки, входящая во вход «В» компонента «Division», является делителем значения, выставляемого на слайдере в диапазоне 1 – 1000, входящем во вход «А», что дает на выходе компонента «Division» численное значение фактора масштабирования, входящее в стек «Factor» компонента «Scale». «Scale» - «масштаб» (рис. 2.51) - масштабирует объект равномерно во всех направлениях:



Рисунок 2.51. Компонент «Scale» (скриншот экрана)

Входные данные (слева):

- «G» «Geometry» базовая геометрия;
- «С» «Сепter» центр (точка) центр масштабирования;
- «F» «Factor» коэффициент масштабирования (число);

Выходные данные (справа):

- «G» «Geometry» масштабированная геометрия;
- «Т» «Transform» трансформация набор трехмерных линейных преобразований. (Преобразования могут состоять как из аффинных преобразований, таких как перемещение и вращение, так и из неаффинных преобразований, таких как сдвиг и сужение).

Таким образом, численное значение фактора масштабирования, подключаемого ко входу «Factor» компонента «Scale» и набор геометрии сетки на основе тензометрических данных скана стоп, являющийся результатом действия компонента «Import Image», соединенный со входом «Geometry» компонента «Scale», на выходе «Geometry» компонента «Scale» дает нам масштабированную

базовую геометрию сетки (рис. 2.52) картины распределения плантарного давления по пространственной форме следа стоп, причем масштабирование регулируется слайдером компонента «Division»:



Рисунок 2.52. Компонент «Mesh» (скриншот экрана)

Данные параметра унаследованы от других компонентов алгоритма Grasshopper. Результат параметра — параметры полигональной сетки, которые являются входными для компонентов «On mesh» и «Image circles».

Принцип работы второго блока представлен на рис. 2.53.

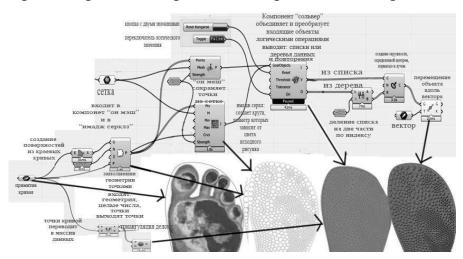


Рисунок 2.53. Блок 2 нодового скрипта перевода давления стопы в реконфигурируемую поверхность подошвы (скриншот экрана)

Проводим ограничительную кривую контура детали низа, полигональную сетку которой переводим в пузырьковую (Image Circles) с неравномерной плотностью и размером ячеек, диапазон радиусов которых регулируется. Деление контура ячеек на сегменты регулируется их максимальным радиусом. На пузырьковой сетке с помощью плагина Kangaroo строим рельефы с регулируемым диапазоном высот. Далее применяем алгоритм триангуляции Делоне и получаем неравномерную сетку (Delaunay Mesh), величина, плотность и высота ячеек которой зависят от графической интерпретации данных силы давления стопы на опорную поверхность (в данном случае, чем выше давление, тем больше

плотность пузырьков и меньше их радиус, и наоборот). Компонент «On mesh» - «на сетке» (рис. 2.54) - сохраняет точку на заданной сетке.



Рисунок 2.54. Компонент «On mesh» (скриншот экрана)

Входные данные (слева):

- «Points» «точки», куда входят результирующие данные компонента «Populate Geometry»;
- «Меsh» «сетка», куда входят результирующие данные компонента «Мesh»;
 - «Strength» «сила» числовой коэффициент, заданный числом 1. Выходные данные (справа): «Р» «точки» (общие данные).

Компонент «Populate Geometry» (рис. 2.55) - заполняет базовую геометрию точками.



Рисунок 2.55. Компонент «Populate Geometry» (скриншот экрана)

Входные данные (слева):

- «G» «геометрия» для заполнения (только кривые, поверхности, контуры и сетки);
 - «N» «количество» (целое число);
- «S» «начальное значение» (целое число) случайное начальное значение для вставки;
 - «Р» «точка»;

Выходные данные (справа):

«Р» - «population» — «популяция» - представляет собой набор координат 3D-совокупности вставленных точек;

Здесь входными данными во вход «N» является целое число 1500.

На вход «G» - исходящие значения компонента «Boundary Surfaces» - «граничные поверхности» (рис. 2.56) - создает плоские поверхности из набора кривых, ограничивающих контур детали.



Рисунок 2.56. Компонент «Boundary Surfaces» (скриншот экрана)

Входные данные (слева):

«С» – кривая, здесь – кривая параметра «Сurve» (рис. 2.57), проведенная в Rhino методом «interpolate points»;



Рисунок 2.57. Параметр «Curve» (скриншот экрана)

Выходные данные (слева):

«S» – «поверхность» - результирующая граничная поверхность входит во вход «С» компонента «Boundary Surfaces».

Вернемся к параметру «Mesh». Выходные данные параметра «Mesh» являются входными для компонентов «On mesh» и «Image circles» . «Image circles» (рис. 2.58) производит заполнение кругами поверхности, построенной на основе загруженного изображения.

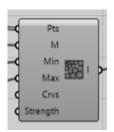


Рисунок 2.58. Компонент «Image circles» (скриншот экрана)

Входные данные (слева):

- «Pts» «Points» «точки» местоположения центров кругов;
- «М» «Меsh» «сетка» цветная сетка более темным областям соответствуют круги меньшего диаметра;
 - «Міп» «минимум» наименьший радиус окружности (число);
 - «Мах» «максимум» наибольший радиус окружности (число);
- «Crvs» «Curves» «кривая»;
- «Strength» «сила» числовой коэффициент, заданный числом 1.

Выходные данные (справа): круги, заполняющие поверхность, построенную на основе изображения (общие данные), которые подаются на вход «Goal objects» - («целевые объекты») компонента «Solver» - «решатель» (рис. 2.59), который непосредственно распределяет круги по поверхности в заданном контуре в режиме реального времени.



Рисунок 2.59. Компонент «Solver» (скриншот экрана)

Входные данные (слева):

- «Goal objects» «целевые объекты» (общие данные), в данном случае выходные данные компонента «Image circles»;
- «Reset» «сброс» (логическое значение) подключается компонент «Виtton» кнопка переключения (рис. 2.60);



Рисунок 2.60. Компонент «Вutton» (кнопка перезапуска плагина Kangaroo), (скриншот экрана)

• «On» – «включен» (логическое значение) - если значение «true», Капдагоо продолжит выполнение итерации до достижения заданного порогового значения (рис. 2.61).



Рисунок 2.61. Компонент «Boolean toggle», (кнопка переключения значений булевой логики) (скриншот экрана)

Выходные данные (справа):

- «I» «Integer» (целое число) количество итераций;
- «V» «Points» (точки);
- «О» (общие данные) дерево вывода данных целевой функции, которое в данном случае служит входными данными для следующего компонента:

«Split List» - «разделенный список» (рис. 2.62) - разделяет список на отдельные части.

Рисунок 2.62. Компонент «Split List» (скриншот экрана)

Элементы в списке идентифицируются по их индексу. Первый элемент хранится с нулевым индексом, второй элемент хранится с индексом один и так далее. Этот компонент разбивает список на две части по указанному индексу. Индекс указывает на первый элемент во втором списке.

Входные данные (слева):

- List список (общие данные) базовый список (нумерация с 0) в данном случае дерево выходных данных стека О компонента «Solver»;
- Index индекс (целое число) индекс разделения, в данном случае задан числом -2;

Выходные данные (справа):

- List A список A (общие данные) элементы слева от i-элемента списка;
- List B список B (общие данные) элементы справа от и включая іэлемент списка.

Компонент «Circle CNR» (рис. 2.63) - создает окружность, определяемую центром, нормалью и лучом, которая представляет собой набор данных параметрической (не nurbs) окружности, следовательно, не может быть связанная с объектами в модели Rhino.

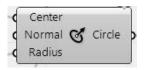


Рисунок 2.63. Компонент «Circle CNR» (скриншот экрана)

Входящие данные (слева):

- «Сепter» «центр» (точка) центральная точка, в данном случае результирующие данные компонента «Solver», выходящие из выхода «V»;
- «Normal» «нормаль» (вектор) вектор перпендикулярный окружности;
- «Radius» «радиус» (число) радиус окружности, в этот вход заходят результирующие данные стека «List B» компонента «Split List».

Выходящие данные (справа):

«Circle» – «окружность» – в данном случае – серия параметрических окружностей Grasshopper, не связанная с моделью Rhino, которые двигаются вдоль вектора компонентом «Move» - «двигать» (рис. 2.64).



Рисунок 2.64. Компонент «Моve» (скриншот экрана)

Входные данные (слева):

- «Geometry» «базовая геометрия» (геометрия) в данном случае результирующие параметрические окружности компонента «Circle CNR»;
- «Motion» «движение» (вектор) в данном случае подключается компонент «Vector» (рис. 2.65), содержащий вектор в среде Rhino.



Рисунок 2.65. Компонент «Vector» (скриншот экрана)

Выходные данные (справа):

- «Geometry» «результирующая геометрия» (геометрия);
- «Transform» «трансформировать» -данные преобразования;

Результирующие данные не извлекаются, но в среде Rhino модель сдвигается по указанному вектору.

Результирующие данные выхода «V» компонента «Solver» являются также входящими в параметр «Point» (рис. 2.66).



Рисунок 2.66. Параметр «Point» (скриншот экрана)

Параметр «Point» представляет собой контейнер для хранения набора координат 3D-точек. Помимо результатов работы компонента «Solver», в параметр «Point» входят данные компонента «Divide Distance» (рис. 2.67), разделяющего кривую с заданным расстоянием между точками.

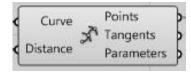


Рисунок 2.67. Компонент «Divide Distance» (скриншот экрана)

Входные данные (слева):

- «Curve» -«кривая» (геометрия) в данном случае кривая, ограничивающая рисунок, проведенная в среде Rhino;
- «Distance» «расстояние» (число) расстояние между точками на кривой в данном случае максимальное значение, указанное во входных данных компонента «Image circles».

Выходные данные (справа):

- «Points» «точки» деления кривой, в данном случае входные данные контейнера «Point»;
- «Tangents» «касательные» (вектор) касательные векторы в точках деления;
- «Parameters» «параметры» (количество) значения параметров в точках разделения;

Массив входящих в параметр «Point» данных «сглажен» (на компоненте нажат значок «Flatten»), то есть все данные преобразованы в один список. Данные из параметра «Point» через компонент «Data Dam» поступают в компонент «Delaunay Mesh». «Data Dam» - «Дамба данных» (рис. 2.68), может временно препятствовать потоку данных с левой стороны от нее вправо до тех пор, пока на нее не будет нажата кнопка.



Рисунок 2.68. Компонент «Data Dam» (скриншот экрана)

Если есть определение, для вычисления которого в правой части таблицы данных требуется много времени, изменение параметров левой части может привести к задержке выполнения всей задачи и/или даже к остановке компьютера. Массив данных, полученный в результате работы компонента «Data dam», поступает в компонент «Delaunay Mesh» - «сетка Делоне» (рис. 2.69), который осуществляющий триангуляцию Делоне.



Рисунок 2.69. Компонент «Delaunay Mesh» (скриншот экрана)

Входные данные (слева):

- «Points» «точки» для триангуляции список точек компонента «Point»;
- «Plane» «плоскость» дополнительная опорная плоскость, по умолчанию используется наиболее подходящая плоскость.

Выходные данные (справа):

«Mesh» – «сетка» – набор геометрии полигональной сетки.

Результирующим для блока является преобразование имевшихся хаотичных кругов в рисунок, упорядоченный благодаря применению принципа триангуляции Делоне.

2.4. Заполнение многоугольниками экспериментальных графических изображений плантарной поверхности стопы

Помимо заполнения поверхностей кругами можно производить их мощение многоугольниками правильной или неправильной формы [86-89], пример этого изображен на рис. 2.70.

Таким образом, можно сказать, что все рассмотренные в работе алгоритмы подобны, но принцип загрузки изображения и тип сетки отличаются. Например, на рис. 2.71 изображен алгоритм заполнения исходного рисунка базовыми прямоугольниками.

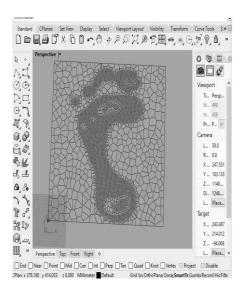


Рисунок 2.70. Пример перевода распределения давления стопы в рисунок детали низа с заполнением неправильными многоугольниками (скриншот экрана)

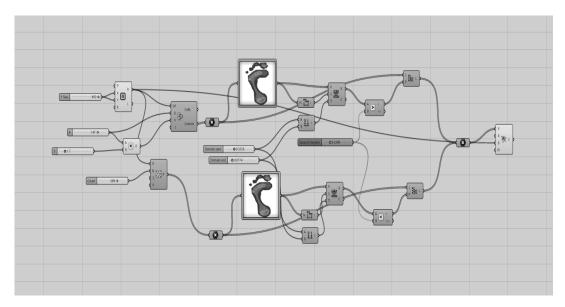


Рисунок 2.71. Нодовый скрипт перевода изображения давления стопы в рисунок детали низа (скриншот экрана)

В начале компонентом «Rectangle» задается прямоугольная область, которая затем разбивается на полигональные ячейки (регулируемые слайдерами) компонентом «Hexagonal cells», выходными данными которого служат центры ячеек [90-92]. Кроме того, компонент «Populate 2D» генерирует популяцию точек, подключающуюся к компоненту «Image sampler» (рис. 2.72).



Рисунок 2.72. Компонент «Image sampler» (скриншот экрана)

Компонент «Image sampler» - «образец изображения» - позволяет оценивать пиксельные данные, хранящиеся в файлах изображений. «Image Sampler» имеет несколько параметров, относящихся к алгоритму выборки:

- «Interpolate» «интерполировать»; если включена интерполяция, то изображения отбираются с использованием координат пикселей с плавающей запятой. Значения между пикселями смешиваются линейно; это создает визуальные эффекты;
- «Clamp» «зажим» параметр приводит к получению полностью прозрачных цветов, когда выборка изображения выходит за пределы границ;
- «Tile» «плитка» опция будет повторять изображение до бесконечности во всех направлениях;
- «Flip» «сальто» опция будет повторять и отражать изображение до бесконечности во всех направлениях;
- «Х and Y domains» «домены Х и У» определяет диапазон выборки в обоих направлениях. По умолчанию диапазон выборки составляет {от 0.0 до 1.0} как для х, так и для у. Изображение предварительного просмотра на компоненте «Ітаде Sampler» будет сжато, если исходный файл содержит более 40 000 пикселей.

Выходными данными компонента «Image Sampler» служат общие данные, последовательная обработка списков которых компонентами операций над данными, и их преобразованием в геометрию, дает набор точек, преобразуемый в конечную сеть компонентом «Voronoi» (рис. 2.73).

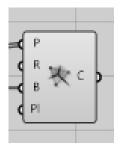


Рисунок 2.73. Компонент «Voronoi» (скриншот экрана)

Компонент «Voronoi» - это плоская диаграмма Вороного для набора точек. Входные параметры:

- «Р» точки для диаграммы Вороного;
- «R» дополнительный радиус ячейки;
- «В» необязательная граница сдерживания для диаграммы;
- «Р» дополнительная опорная плоскость. Если плоскость не предусмотрена, то будет использоваться наиболее подходящая плоскость.

Выходные параметры: «С» - «cells» (кривая) - ячейки диаграммы Вороного.

Диаграмма Вороного описывает пространственное отношение между близко расположенными точками или их ближайшими соседними и представляет собой множество многоугольников, полученное соединением точек. Каждая линия «области» Вороного находится посередине между двумя точками (рис. 2.74) и все они соединяются в центре — это система, обратная триангуляции Делоне.

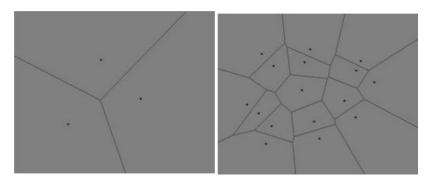


Рисунок 2.74. Диаграмма Вороного, описывающая пространственное отношение между близко расположенными или ближайшими соседними точками (из открытых источников Интернет)

Эта диаграмма состоит из линий от каждой точки до её ближайшей их соседней, и каждая линия перпендикулярна пересекаемому ею ребру Вороного. Белым обозначены линии Делоне. Каждая линия Делоне соответствует одному и только одному ребру Вороного (рис. 2.75).

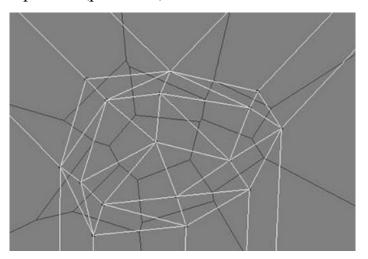


Рисунок 2.75. Линии Делоне (белые) и ребра Вороного (черные) (из открытых источников Интернет)

На рис. 2.76 показан пример алгоритма заполнения криволинейной поверхности многоугольниками.

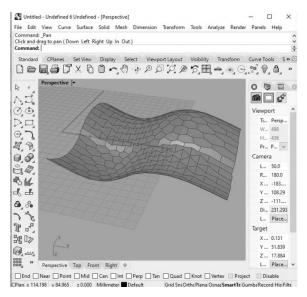


Рисунок 2.76. Пример реализации алгоритма заполнения криволинейной поверхности многоугольниками (скриншот экрана)

Входным параметром здесь является поверхность компонента «Surface», на которую накладывается шестиугольная сетка с помощью компонента «Hexagonal cells» - («шестиугольная сетка») (рис. 2.77) [93-95].

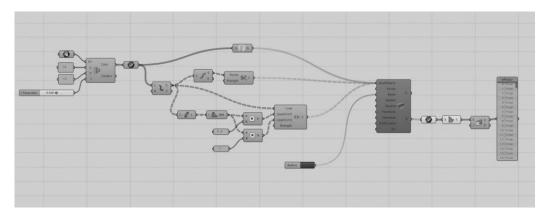


Рисунок 2.77. Нодовый скрипт заполнения криволинейной поверхности многоугольниками (скриншот экрана)

Закрытые полилинии сетки входят в компонент «Curve», а оттуда - во вход «Goal objects» компонента «Solver» плагина «Kangaroo».

Данные параметра «Curve» последовательно преобразуются компонентами «Explode» и «End points» (рис. 2.78).

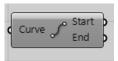


Рисунок 2.78. Компонент «End points» (скриншот экрана)

Затем компонент «CoPlannar» (рис. 2.79) создает массив данных точек копланарных векторов. Эти данные также подключаются ко входу «Goal objects» компонента «Solver» плагина «Kangaroo».

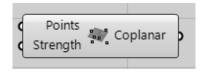


Рисунок 2.79. Компонент «CoPlannar» (скриншот экрана)

Маленькие сегменты кривой, полученные в результате действия компонента «Explode», измеряются компонентом «Length (рис. 2.80).



Рисунок 2.80. Компонент «Length» (скриншот экрана)

Среднее арифметическое их длин высчитывает компонент «Average» (рис. 2.81).



Рисунок 2.81. Компонент «Average» (скриншот экрана)

Двойной компонент «Multiplication» перемножает результат и на 0,4 и на 2, что дает, соответственно, минимальный и максимальный пределы, являющиеся входными данными компонента «Clamp Length» (рис. 2.82), находящего пределы уменьшения элементов заполнения поверхности. Все полученные данные обрабатываются компонентом «Solver» плагина «Kangaroo», упаковывая криволинейную поверхность многоугольниками.



Рисунок 2.82. Компонент «Clamp Length» (скриншот экрана)

На рис. 2.83 изображен алгоритм складывания Yoshimura, наглядно иллюстрирующий принципы организации структуры экспериментальных поверхностей.

Алгоритм состоит из нескольких блоков (рис. 2.84, 2.85).

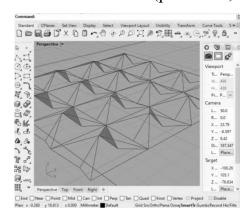


Рисунок 2.83. Иллюстрация работы алгоритма складывания Yoshimura в 3D-окне (скриншот экрана)

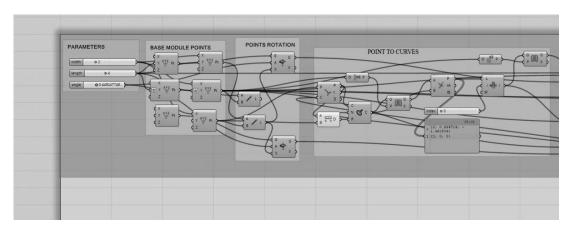


Рисунок 2.84. Нодовый скрипт складывания Yoshimura, первая часть (скриншот экрана)

В блоке «parameters» тремя компонентами «Number slider» заданы параметры базовой сетки: длина, ширина и угол сгибания граней сетки базового модуля [96-98]. Параметры можно изменять, передвигая соответствующие ползунки компонентов. В блоке «base module points» - «точки базового модуля» -

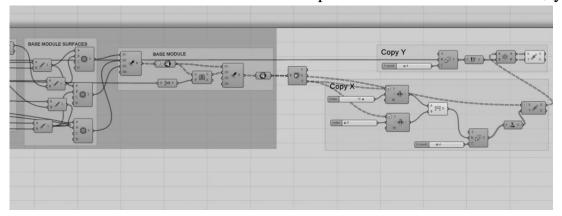


Рисунок 2.85. Нодовый скрипт складывания Yoshimura, вторая часть (скриншот экрана)

к комбинациям значений параметров ширины и длины параллельно применяется компонент «Construct point» (рис. 2.86) - «построить точку». В одном из компонентов «Construct point» на входе «Y» введено уравнение «x/2», чтобы найти середины отрезков ячеек базовой сетки.

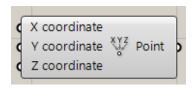


Рисунок 2.86. Компонент «Construct point» (скриншот экрана)

В блоке «points rotation» - «поворот точек» - помимо полученных из предыдущего блока преобразованных значений точек, задействован параметр угла складывания, который параллельно применяется к точкам и отрезкам, полученным из найденных точек середин отрезков базовой сетки. В блоке «points to curve» - «построение кривых по точкам» - с помощью компонентов «Curve Closest Point» (рис. 2.87), «Міггог» (рис. 2.88), «ССХ» (рис. 2.89) исходные точки преобразуются в кривые базовой поверхности, которая формируется в следующем блоке.

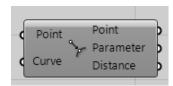


Рисунок 2.87. Компонент «Curve Closest Point» (скриншот экрана)



Рисунок 2.88. Компонент «Міггог» (скриншот экрана)

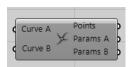


Рисунок 2.89. Компонент «ССХ» (скриншот экрана)

Блок «Base module surface» - «базовая модульная поверхность» - представляет собой три параллельно подключенных компонента «Edge surface» (рис. 2.90), выходные данные которых объединены в блоке «Base module» - «базовый модуль» - в один базовый модуль с помощью компонента «Merge», который копируется в блоках «Сору Х» и «Сору Y» по осям X и Y соответственно.

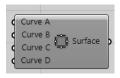


Рисунок 2.90. Компонент «Edge surface» (скриншот экрана)

Общим для алгоритмов такого рода является создание геометрии базовой решетки способом, соответствующим выбранной задаче, спроектированным самостоятельно или с помощью уже имеющихся плагинов.

2.5 Описание нодовых скриптов экспериментальных образцов поверхностей

В данном исследовании использованы алгоритмы построения 4–х реконфигурируемых поверхностей (№1, 5, 7, 10) из 48 разработанных (таб. 2.1). Выбор именно этих поверхностей для печати их образцов с одной стороны, обусловлен техническими возможностями производства, с другой – предположениями схожести их свойств с материалами низа обуви.

На рис. 2.91 дано 3D-представление работы алгоритма поверхности №7.

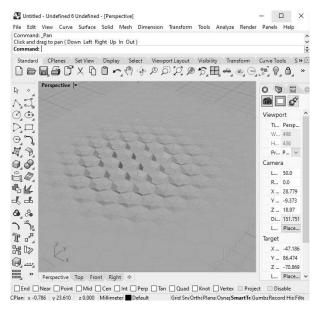


Рисунок 2.91. 3D-представление работы алгоритма поверхности №7 (скриншот экрана)

Таблица 2.1. 3D модели экспериментальных материалов с реконфигурируемой трехмерной структурой (Фрагмент. Полную таблицу 48 экспериментальных материалов см. в ПРИЛОЖЕНИИ А).

№	Перспектива	План/вид сверху
1		
5		
7		
10		

Нодовый скрипт поверхности №7 (рис. 2.91) представлен на рис. 2.92.

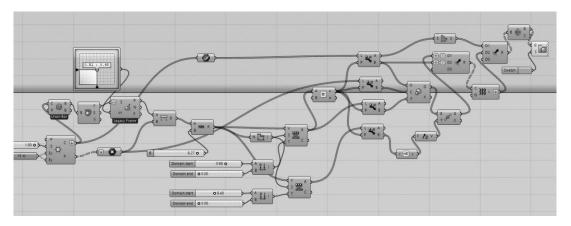


Рисунок 2.92. Нодовый скрипт поверхности №7 (скриншот экрана)

В качестве базовой геометрической структуры применяется компонент «Hexagonal» (рис. 2.93), создающий 2D-сетку с шестиугольными ячейками.

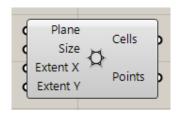


Рисунок 2.93. Компонент «Hexagonal» (скриншот экрана)

Входные данные:

- базовая плоскость для сетки;
- размер радиуса шестиугольника;
- количество ячеек сетки в направлениях базовой плоскости х;
- количество ячеек сетки в направлениях базовой плоскости у;

Выходные данные:

- контуры ячеек сетки;
- точки в центрах сетки;

На 3D-представлении (рис. 2.91) видно, что сетка становится более редкой и с более крупными ячейками, что реализовано с помощью компонента «MD Slider» (рис. 2.94), подключенного к компоненту «Evaluate Surface» (рис. 2.95), использующему преобразованные выходные данные контуров ячеек сетки компонента «Hexagonal» и, на выходе дающем набор точек — центров ячеек, подлежащих изменению.

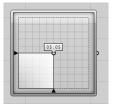


Рисунок 2.94. Компонент «MD Slider» (скриншот экрана)



Рисунок 2.95. Компонент «Evaluate Surface» (скриншот экрана)

Применение нескольких параллельных компонентов «Dispatch» (рис. 2.96) к наборам исходных и преобразованных данных сетки, одновременно обрабатывает все части сетки.



Рисунок 2.96. Компонент «Dispatch» (скриншот экрана)

При этом выходные данные компонентов «Dispatch», подключенные ко входам компонента «Scale», дают синхронное масштабирование элементов. Все потоки данных объединяются компонентом «Merge» и с помощью компонента «Loft» (рис. 2.97) создается поверхность, «выступающая» по вектору Z, указанному в алгоритме.



Рисунок 2.97. Компонент «Loft» (скриншот экрана)

Работа алгоритма завершается окрашиванием поверхности в голубой цвет компонентом «Custom preview» (рис. 2.98).

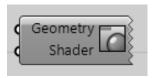


Рисунок 2.98. Компонент «Custom preview» (скриншот экрана)

На рис. 2.99 отображено 3D-представление работы алгоритма поверхности N_{2} 5.

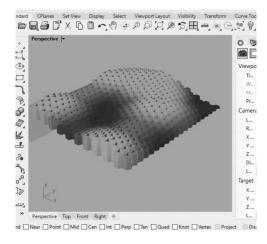


Рисунок 2.99. 3D-представление поверхности №5 (скриншот экрана)

Рассмотрим организацию алгоритма поверхности (рис. 2.100).

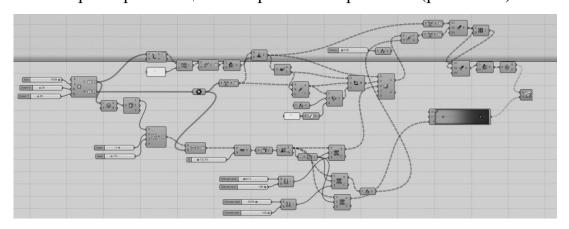


Рисунок 2.100. Нодовый скрипт поверхности №5 (скриншот экрана)

Его основу также определяет компонент «Hexagonal», выходные данные которого подвергаются преобразованиям с целью:

- получить данные:
- центров ячеек с минимально или максимальной высотой;

- преобразованной базовой сетки, чтобы сгенерировать по ней поверхность, выступающую с разной высотой;
 - объединить и масштабировать объекты разной природы вместе;
- окрасить получившуюся в итоге криволинейную поверхность в красный цвет.

На рис. 2.101 и 2.102 отображены 3D-представления работы алгоритмов поверхностей №10 и №1 соответственно.

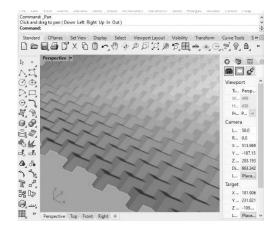


Рисунок 2.101. 3D-представление поверхности №10 (скриншот экрана)

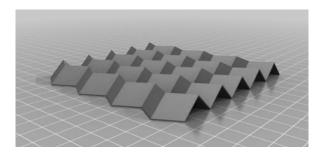


Рисунок 2.102. 3D-представление поверхности №1 (скриншот экрана)

Вследствие значительной длины нодовых скриптов поверхностей №1 и 10, они не приводятся. Эти алгоритмы имеют сходные принципы организации, основу которой составляют сетки разной конфигурации, преобразованные в сложные поверхности. Помимо разной пространственной структуры для 3D-печати образцов экспериментальных материалов, используются разные виды расходных материалов (Флекс, жидкий термопластичный полиуретан (ТПУ), мягкие виды пластиков, смеси фотополимеров), а также типы 3D-печати (FDM,

STL). Анализ ассортимента полимерных материалов для 3D-печати и возможность их применения в обувном производстве, исследование свойств экспериментальных образцов материалов с реконфигурируемой трехмерной структурой представляются в следующей главе диссертации.

выводы по второй главе

Разработаны:

- примеры алгоритмов заполнения кругами поверхностей и контуров на основе изображений и без них;
 - параметрический алгоритм перевода давления стопы в конструкцию стельки или подошвы, плотность рисунка на которых зависит от силы давления стопы в той или иной части детали;
- цифровые модели экспериментальных материалов с реконфигурируемой трехмерной структурой;
- принцип заполнения контура многоугольниками по заданному графическому изображению снимков плантарной поверхности стопы;
- описание нодовых скриптов экспериментальных образцов поверхностей;

Проанализированы:

- особенности материалов с реконфигурируемой структурой;
- свойства реконфигурируемых поверхностей на основе оригами;
- геометрические и физические особенности, важные для построения алгоритмов параметрического проектирования материалов с реконфигурируемой поверхностью в Grasshopper;
- принцип триангуляции Делоне, составляющий основу алгоритмов «заполнения кругами».

3. ИССЛЕДОВАНИЕ И АНАЛИЗ СВОЙСТВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ОБРАЗЦОВ МАТЕРИАЛОВ С РЕКОНФИГУРИРУЕМОЙ ТРЕХМЕРНОЙ СТРУКТУРОЙ

3.1 Полимерные материалы для 3D-печати и возможность их применения в обувном производстве

Современное производство сложно представить без применения технологий 3D- печати. «Аддитивное производство» — это процесс создания физических объектов из 3D-моделей путем последовательного нанесения слоев филамента [99].

3D-печать, запатентована в 1986 году Чарльзом У. Халлом, сооснователем корпорации 3D Systems. 3D-печать - это альтернатива традиционных методов механического производства и обработки, как фрезеровка, резка, сверление, шлифование. В 1990-х годах 3D-печать использовалась в основном, для создания прототипов, а в настоящее время она применяется для быстрого производства в разных отраслях промышленности, от архитектуры и строительства, производства товаров народного потребления [100]. Популярность метода объясняется мелкосерийного его доступностью ДЛЯ производства; энергоэффективностью; экологичностью; высокой степенью персонализации изделий при цифровом проектировании [101]. Эти факторы играют важную роль при изготовлении инклюзивной продукции обувного назначения (ортопедические колодки, профилактические стельки и др.) (рис. 3.1, 3.2).

Данные трехмерной модели поступают на 3D-принтер в формате STL, после чего происходит послойное нанесение полимерного материала. Слои для создания объекта заданной формы соединяются вместе (рис. 3.3).



Рисунок 3.1. Сканирование стоп

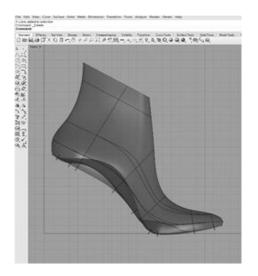


Рисунок 3.2. Получение исходной информации для цифровой трехмерной модели колодки



Рисунок 3.3. Печать макетов стелек на 3D-принтере

Физическое построение модели занимает от нескольких часов до нескольких дней в зависимости от используемого метода, а также размера и

сложности исходного файла. Некоторые традиционные методы могут обходиться дешевле при производстве крупных партий изделий, но аддитивные технологии более выгодны при мелкосерийном производстве [101]. Небольшие 3D-принтеры позволяют дизайнерам создавать концептуальные прототипы прямо на рабочем месте (рис. 3.4, 3.5).



Рисунок 3.4. Эластичные беговые кроссовки Recreus



Рисунок 3.5. Концептуальные модели обуви и ее элементов

Актуален вопрос баланса между структурной сложностью объекта проектирования, скоростью его изготовления и его себестоимостью [102], что напрямую зависит от выбора метода 3D-печати и расходных материалов [103]. Ряд технологий основывается на размягчении или полном плавлении материалов, например: выборочное лазерное спекание (SLS); выборочная лазерная плавка

(SLM; метод послойного наплавления (FDM или FFF); струйная трехмерная печать (PolyJet); цифровая светодиодная проекция (DLP); производство твердых изделий методом фото-полимеризации (стереолитография (SLA); технология ламинирования листовых материалов (LOM), при которой тонкие слои материала подвергаются резке до необходимого контура, с последующим соединением [104].

Исходным сырьем для технологий 3D-печати может быть металл, полимеры, бумага, гипс. Остановимся подробно на тех методах 3D-печати, использование которых предполагает применение полимерного сырья [105].

Наиболее коммерчески доступным методом 3D-печати является послойное наплавление (FDM или FFF) и спекание порошковых материалов.

При послойном нанесении, изделие формируется экструзией расплава полимера, с последующей фиксацией структуры изделия охлаждением расплава. Экструдер приводится в движение пошаговыми двигателями или сервомоторами, обеспечивающими позиционирование печатной головки в трех плоскостях. Перемещение экструдера контролируется производственным программным обеспечением, привязанным к микроконтроллеру [106].

При тепловом или лазерном спекании порошкообразный полимер с диаметром частиц 50-100 мкм распределяется в горизонтальной плоскости тонкими равномерными слоями и подвергается воздействию горячего пресса или лазера вплоть до получения цельной модели [107].

В методе цифровой проекции (DLP) используются жидкие полимерные смолы, в которые добавлены специальные реагенты-отвердители, чувствительные к ультрафиолету, излучаемому цифровыми проекторами в рабочей камере печатного устройства. После отверждения каждого слоя материала, рабочая платформа погружается на глубину, равную толщине одного слоя, и жидкий полимер вновь облучается. Процедура повторяется до завершения постройки модели.

При струйной печати (PolyJet) жидкий полимер распыляется на рабочую платформу, где каждый слой облучается ультрафиолетовым пучком до получения готового изделия. Для поддержки сложных моделей предусмотрено применение гелеобразного «опорного» водорастворимого полимера, который удаляют из готового изделия методом промывки (рис. 3.6, 3.7). Данная технология предусматривает использование не только термопластичных полимеров, но и эластомеров, что дает возможность получения гибких изделий [108].



Рисунок 3.6. Тестовая модель, полученная удалением опорного элемента

Метод проекционной стереолитографии (SLA), сопряженный с программами 3D-сканирования, осуществляет полимеризацию расходного материала с помощью светодиодных проекторов, что подразумевает разделение цифровой трехмерной модели на горизонтальные слои с

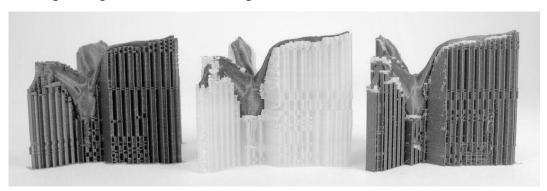


Рисунок 3.7. Удаление «опорного» элемента из готового изделия методом промывки

преобразованием каждого слоя в двухмерную проекцию на последовательные слои фотополимерной смолы, затвердевающие в соответствии с

проецируемыми контурами. В некоторых системах проекторы расположены снизу, способствуя выравниванию поверхности фотополимерного материала при вертикальном движении модели и сокращению времени производства. Технология позволяет создавать модели из нескольких материалов с разной скоростью застывания.

В качестве расходных материалов для FDM или FFF методов используют термопластичные полимеры, такие как тройной сополимер акрилонитрила с бутадиеном и стиролом (АБС пластик, англ. ABS), поликарбонат (ПК, англ. PC), полилактид (ПЛА, англ. PLA), полиэтилен низкого давления (ПЭНД, англ. HDPE), смеси поликарбоната и ABS-пластика, полифениленсульфон (ПФС, англ. PPSU) и др.

В методе послойного спекания – полиамид (ПА, англ. РА), полиамид, армированный стекловолокном (англ. PA-GF), полистирол (ПС, англ. PS) и др. полимеры, к которым добавляется фото-отвердитель.

1.АБС-пластик - самый распространенный полимер для 3D-принтеров. Точность изготовления моделей из АБС-пластика достигает 50 микрон (0,05 мм), что дает возможность индивидуального изготовления коллекций обуви.

Достоинства полимера:

- доступность (от 1500 до 2000 руб. за кг),
- нетоксичность,
- гидро- и химическая стойкость,
- прочность,
- широкий диапазон эксплуатационных температур: от -40 °C до +90 °C (у модифицированных марок до 103-113 °C),
- формоустойчивость,
- растворимость в ацетоне, кетонах, эфирах.

К недостаткам относится:

- высокая температура печати (210-270 °C);
- неустойчивость к ультрафиолетовому излучению,

- высокая термоусадка;
- запах при работе с нитью;
- необходимость предварительного прогрева рабочего стола, до 110 градусов, во избежание прилипания материала к его поверхности [109].
- 2.Полилактид PLA биоразлагаемый, биосовместимый полиэфир, молочной кислоты, получаемый из природного сырья (кукурузы или сахарного тростника) (рис. 3.8).



Рисунок 3.8. Коллекция обуви из PLA (архив кафедры XMКиТИК, автор Минец В.В.)

Достоинства полимера:

- биоразложение и экологичность,
- низкий коэффициент трения;
- малая термоусадка (в сравнении с АБС);
- меньшая хрупкость (в сравнении с АБС);
- более низкая температура переработки (в сравнении с АБС); (около 180–190 °C)
- меньшая температура подогрева рабочего стола (до 50–60 °C),
- отсутствие посторонних запахов при работе с полимером. Недостатки:
- малая долговечность,
- высокая гигроскопичность,
- более высокая себестоимость (в сравнении с АБС);
- растворимость в сильно токсичных растворителях (дихлорэтан, хлороформ и др.) [110].

3. Полистирол (ПС, англ. HIPS (High-impact Polystyren) - менее распространенный полимер.

Характеристики:

- ударопрочный,
- непрозрачный,
- жесткий, твердый материал,
- стойкий к перепадам температур,
- растворимый в естественных растворителях, таких как лимонная кислота, и поэтому используемый, в том числе, для создания «опорных» структур;
- рабочая температура ПС около 230 °C, цена на 30–50% выше, чем у АБС пластика.
- 4. Водорастворимый поливиниловый спирт (ПВС, англ. PVA)

Характеристики:

- широкое применение для производства «опорных» вспомогательных деталей,
- требует рабочей температуры около 180–200 °С (дальнейшее ее повышение нежелательно из-за возможности пиролиза термического разложения);
- очень гигроскопичен, активно поглощает влагу из воздуха, что создает проблемы при хранении и печати, особенно, если диаметр нити 1,75 мм.
- 5. Полиамид (ПА, англ. РА)

Характеристики:

- для печати деталей с низким поверхностным трением;
- легкий,
- гибкий,
- эластичный,
- прочный,
- устойчивый к химическому воздействию;
- температура плавления 240–250 °C.

- высокая гигроскопичность;
- высокая стоимость, превосходящая более чем в два раза стоимость АБС и ПЛА.

6. Поликарбонат (ПК, англ. РС)

Характеристики:

- биологически инертен;
- твёрдый,
- сохраняет свойства в диапазоне температур от -40 °C до 120 °C,
- долговечен,
- устойчив к физическим воздействиям и нагреву,
- гигроскопичен, способен впитывать воду из воздуха, поэтому его необходимо хранить в сухом месте,
- температура печати (плавления полимера) составляет порядка 270-310°C, температура стола 90 110°C;
- усадка или деформация значительные;
- растворимость низкая,
- идеален для 3D-печати деталей, которые должны сохранять свою прочность, ударную вязкость и форму в условиях длительной эксплуатации.

7. Полиэтилентерефталат (ПЭТФ, анг. РЕТТ)

Характеристики:

- свойства похожи с ПК,
- высокая прочность,
- рабочая температура переработки 210–225 °C, стола до 50–80 °C.
- цена около 4500–5000 рублей за килограмм.

8. Полиэтилентерефталат модифицированный гликолем (ПЭТФГ, англ. РЕТG)

Характеристики:

- более устойчив,
- менее хрупок,

- более легок в применении,
- хороший компромисс между АБС и ПЛА,
- более эластичен и долговечен, чем ПЛА,
- более простой в печати, чем АБС.

Недостатки:

- высокая гигроскопичность,
- низкая устойчивость изделий к механическим царапинам.
- 9. Термопластичные эластомеры (ТПЭ)

Характеристики:

- мягкие и растяжимые,
- могут выдержать нагрузку, которую не могут выдержать ни АБС, ни ПЛА,
- для печати требуется особенная конструкция экструдера 3D-принтера.
- 10. Термопластичный полиуретан (ТПУ, англ. TPU) разновидность ТПЭ Характеристики:
 - немного жестче чем другие ТПЭ,
 - более долговечен,
 - лучше сохраняет свою эластичность при пониженных температурах,
 - температура печати ТПУ составляет 210-230°C; температура стола -30-60°C;
 - усадка или деформация минимальные.

Использование ТПЭ или ТПУ необходимо при создании объектов, которые подвергаются сильному износу, многократным изгибам, растяжению или сжатию.

Новый ассортимент пластмасс, характеризующийся экологичностью, инновационной функциональностью, например, композиции на основе АБС или ПЛА, содержащие различные наполнители (древесные волокна из сосны, березы, кедра, черного дерева, ивы, бамбука, вишни, кокоса, пробки и оливы;

порошкообразные металлы, имитирующие бронзу, латунь, медь, алюминий, нержавеющую сталь; глину и др). Примеры таких материалов:

Laywoo-D3

Характеристики:

- напоминает дерево,
- имеет запах натуральной древесины,
- производят из полимерной композиции, наполненной древесным наполнителем,
- абочие температуры печати находятся в диапазоне 175–250 °C, подогрев стола не требуется,
- регулируя температуру во время печати, можно получить рисунок натурального дерева,
- себестоимость порядка 10 тысяч рублей за килограмм.

Laybrick

Характеристики:

- содержит минеральные наполнители,
- имитирует изделия из песчаника,
- рабочая температура находится в пределах 165–210 °C,
- повышение температуры приводит к получению более фактурной поверхности,

Помимо описанных выше, к возможным вариантам декорирования обувных изделий следует отнести применение полимерных композиций, способных изменять цветовую палитру при определенном внешнем воздействии, например, изменении температуры тела (стопы). Изменяющая цвет полимерная нить является композиционным материалом на основе АБС или ПЛА.

Инновационным видом 3D-продукции являются люминесцентные изделия. Такие изделия могут быть интересны для изготовления деталей низа обуви специального назначения, используемой в условиях отсутствия электроэнергии.

В основе технологии - использование фосфоресцентных добавок к полимеру, которые излучают фотоны, создавая в темноте эффект свечения.

Применение композиционных нитей для 3D-печати, требует соблюдения баланса между эстетической привлекательностью материала и снижением его гибкости и прочности, также соблюдение температурного режима переработки, вследствие добавления натуральных наполнителей с низкой устойчивостью к перегреву. По этому наиболее распространенные композитные пластики для 3D-принтеров, как правило, содержат около 50% металлического порошка 50% PLA или ABS пластиков.

Современный экологический тренд - полная или частичная замена синтетических полимеров на натуральные или менее опасные искусственные (ПЛА, АБС, карбоксиметилцеллюлоза (КМЦ, англ. СМС), термопластичный полиуретан, полипропилен (ПП, англ. РР), поливиниловый спирт и др). В качестве биоразлагаемых добавок используют поликапролактон (англ. PCL) или полигидроксибутират (англ. PHB), отходы какао-скорлупы, кератин шерсти, целлюлоза и др.

Примеры таких материалов:

- BioFila or TwoBears, (FDM),
- Biome3D or Biome Bioplastics, (FDM).

Все приведенные выше технологии лишь условно безотходны. Поэтому, при выборе метода 3D-печати и расходных материалов для применения в технологии производства обуви, нужно руководствоваться задачами проектирования. Если речь идет о прототипировании, то предпочтение следует отдавать самым бюджетным, малоэнергозатратным методам печати, таким как методы послойного наслоения FDM или фотополимеризации.

В проведенных нами экспериментах на AO «Егорьевск-обувь» для 3D-печати были использованы:

- оборудование (3D-принтеры): Flying bear tornado (FDM); Phrozen mega 8k (фотополимеризация);

- материалы: ТПУ от «Fdplast» с диаметром прутка 1,75 мм (для FDM); «Phrozen aqua 4k» - фотополимерная смола, «harz labs industrial flex» - добавка к фотополимерной смоле для увеличения пластичности. В таб. 3.1. приведены характеристики расходных материалов для печати образцов экспериментальных материалов.

Таблица 3.1. Характеристики расходных материалов для печати образцов экспериментальных материалов

№	Наименование	Производитель	Тип печати	Принтер	Твердость	Удлинение
	материала				по Шору	при
						разрыве, %
1	ТРU (термопластичный полиуретан) «Ледниковый период», Flexпластик 1,75 мм D прутка	FdPlast	FDM	Flying bear tornado	75A	240
2	Phrozen Aqua 4K - Flex	Phrozen	Фотополим еризация	Phrozen mega 8k	80D	113
3	«harz labs industrial flex» - добавка к фотополимерной смоле для увеличения пластичности	HARZ Labs	Фотополим еризация	Phrozen mega 8k	63D	103

Как видно из таб. 3.1, свойства расходных материалов соответствуют свойствам резины (ГОСТ 54553-2019), указанных в таб. 3.2.

Таблица 3.2. Показатели свойств резины

№	Наименование	Показатель
1	Прочность при растяжении о, Мпа (ГОСТ	15 - 25
	54553—2019)	
2	Удлинение при разрыве, є, % (ГОСТ 54553—	156,3 (самый низкий показатель - для
	2019)	Е17074 — этилен-пропилен-
		диеновый каучука со средней
		степенью наполнения, (419,4 –
		объединенные значения)
3	Плотность, г/см ³ (ГОСТ 267 - 73)	1,20
4	Твердость по Шору (ГОСТ 263—75)	50-75 А (40-90 для
		вулканизированных резин)

В следующем разделе диссертации представим свойства разработанных поверхностей 3D-образцов экспериментальных материалов с разными степенями заполнения и размерами ячеек.

3.2. Исследование физико-механических свойств образцов экспериментальных материалов

В испытательной лаборатории отдела контроля качества АО «Егорьевскобувь» протестированы напечатанные 3D-образцы FDM (ТПУ и STL) - (фотополимер) материалов с разной степенью заполнения и величиной ячеек (рис. 3.9) четырех разработанных поверхностей [111].

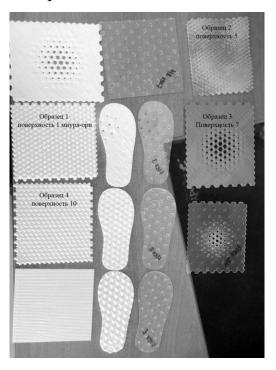


Рисунок 3.9. Образцы поверхностей

Так как, и экспериментальные, и расходные материалы сочетают в себе свойства резины и термоэластопластов, то есть предположительно это материалы для деталей низа обуви, поэтому для исследования их свойств и последующего анализа результатов, из каждого вида поверхности было получено по 10

образцов в форме двухсторонней лопатки толщиной 2,5-3,5 мм (рис. 3.10) согласно ГОСТ Р 54553-2019 «Национальный стандарт Российской Федерации. Резина и Термоэластопласты. Определение упруго-прочностных свойств при растяжении», который ссылается на стандарты:

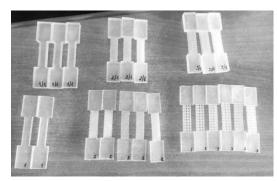


Рисунок 3.10. Экспериментальные образцы материалов для лабораторных испытаний

ГОСТ ISO 37-2013 Межгосударственный стандарт. Резина или термопластик. Определение упругопрочностных свойств при растяжении

ГОСТ 269- Резина. Общие требования к проведению физико-механических испытаний

ГОСТ 270 Резина. Методы определения упруго-прочностных свойств при растяжении

ГОСТ 11358 Толщиномеры и стенкомеры индикаторные с ценой деления 0,01 и 0,1 мм. Технические условия

ГОСТ ISO 23529 Резина. Общие методы приготовления и кондиционирования образцов для определения физических свойств

ГОСТ Р ИСО 5725-1 Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Часть 1 Основные положения и определения

ГОСТ Р 54554- 2011 Смеси резиновые стандартные. Материалы, оборудование, методы смешения и приготовления вулканизованных пластин

ГОСТ 263-75* «Резина. Метод определения твердости по Шору А»

ГОСТ Р ИСО 7619-1-2009 «Резина вулканизированная или термопластичная. Определение твердости при вдавливании»

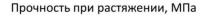
В ходе физико-механических испытаний установлены прочность при растяжении (Мпа), удлинение при разрыве (ϵ , %), плотность (Γ /см³) и твердость по Шору (A) (табл. 3.3).

Таблица 3.3. Результаты лабораторных испытаний (фрагмент)

№ Эксперимента	№ Лабораторного образца	Материал	Размер ячейки, мм	Заполнение,	Прочность при растяжении Мпа	Удлинение при разрыве, ε, %	Плотность, г/см ³	Твердость по Шору, А
ОБРАЗ	ВЕЦ 1 (ПС	DBEPXHOC	ТЬ 1)					
1	2/1/1				16.034	19,37	2,286	84
2	2/1/2				16.065	19,78	2,289	83
3	2/1/3				15.098	19,90	2,291	84
4	2/1/4				16.014	19,58	2,275	79
5	2/1/5	Фото-	2,5-	100	15.054	20,01	2,256	77
6	2/1/6		3,5		16.055	19,43	2,286	82
7	2/1/7	полимер			15.679	19,71	2,288	83
8	2/1/8				15.875	19,44	2,278	79
9	2/1/9				16.043	19,64	2,286	83
10	2/1/10				16.011	19,36	2,291	85

Результаты испытаний остальных образцов материалов представлены в Приложении Б. В таблицах 3.4 - 3.11 приведены статистические показатели прочности при растяжении, удлинения при разрыве (є, %), плотности (г/см³) и твердости по Шору (А) образцов поверхности 1 из фотополимера и ТПУ с различным заполнением ячеек. Статистические показатели прочности при растяжении, удлинения при разрыве (є, %), плотности (г/см³) и твердости по Шору (А) других образцов, принятых к испытаниям представлены в Приложении В. Результаты статистического анализа физико-механических свойств образцов экспериментальных материалов показывают, что степень рассеивания средних арифметических показателей прочности при растяжении,

удлинения при разрыве, плотности и твердости по Шору незначительна, так как коэффициенты вариации меньше 10%. Для наглядности на рис. 3.11-3.13 приведены гистограммы изменения прочности при растяжении образцов, принятых к испытаниям. На рис. 3.11 отображены изменения прочности при растяжении образцов из фотополимера при разной степени заполнения ячеек.



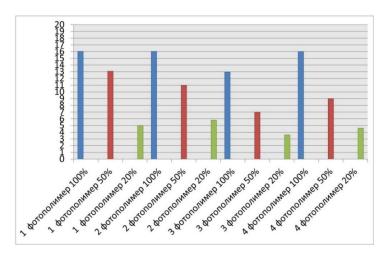


Рисунок 3.11. Гистограммы распределения прочности при растяжении образцов из фотополимера при разной степени заполнения ячеек

На рис. 3.12 отображены изменения прочности при растяжении образцов из ТПУ при разной степени заполнения ячеек.

Прочность при растяжении, МПа

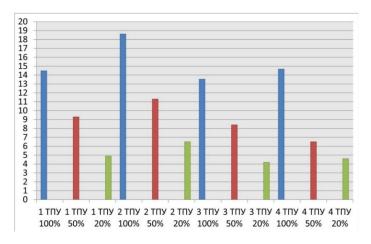


Рисунок 3.12. Гистограммы распределения прочности при растяжении образцов из ТПУ при разной степени заполнения ячеек

Таблица 3.4. Статистические показатели прочности при растяжении образцов поверхности 1 из фотополимера при различном заполнении ячеек

			Заполнение,	Прочность при растяжении						
19h	Материал	Размер ячейки, мм			Статистические показатели					
Образцы				Средняя арифметическая (М)	Медиана, (Ме)	Стандартное квадратичное отклонение, (σ)	Коэффициент вариации, (Cv), %	Средняя ошибка средней арифметической, (m)		
Образец 1 (поверхность 1)	Фотополимер	2,5-3,5	100	15.79	16.0125	0.40	2.50	0.13		
Образец 1 (поверхность 1)	Фотополимер	2,5-3,5	50	13.12	13.105	0.13	1.02	0.04		
Образец 1 (поверхность 1)	Фотополимер	2,5-3,5	20	4,99	5,004	0,04	0,74	0,01		

Таблица 3.5. Статистические показатели прочности при растяжении образцов поверхности 1 из ТПУ при различном заполнении ячеек

			Заполнение,	Прочность при растяжении						
3ЦЫ	Материал	Размер ячейки, мм			Статистические показатели					
Образ				Средняя арифметическая (М)	Медиана, (Ме)	Стандартное квадратичное отклонение, (σ)	Коэффициент вариаций, (Cv), %	Средняя ошибка средней арифметической, (m)		
Образец 1 (поверхность 1)	ТПУ	2,5-3,5	100	14,26	14,3205	0,29	2,05	0,10		
Образец 1 (поверхность 1)	ТПУ	2,5-3,5	50	9,22	9,224	0,03	0,32	0,01		
Образец 1 (поверхность 1)	ТПУ	2,5-3,5	20	4,84	4,8395	0,04	0,84	0,01		

Таблица 3.6. Статистические показатели удлинения при разрыве образцов поверхности 1 из фотополимера при

различном заполнении ячеек

1											
			Заполнение,	Удлинение при разрыве							
1451	Материал	ep , mm			Статистические показатели						
Образ		Размер ячейки, м		Средняя арифметическая (M)	Медиана, (Ме)	Стандартное квадратичное отклонение, (σ)	Коэффициент вариаций, (Cv), %	Средняя ошибка средней арифметической, (m)			
Образец 1 (поверхность 1)	Фотополимер	2,5-3,5	100	19.72	19.71	0.29	1.47	0.21			
Образец 1 (поверхность 1)	Фотополимер	2,5-3,5	50	28.08	27.89	0.42	1.50	0.30			
Образец 1 (поверхность 1)	Фотополимер	2,5-3,5	20	7,92	7,92	0,20	2,46	0,14			

Таблица 3.7. Статистические показатели удлинения при разрыве образцов поверхности 1 из ТПУ при

различном заполнении ячеек

			Заполнение,	Удлинение при разрыве							
अप्ता	Материал	Размер ячейки, мм			Статистические показатели						
Образцы				Средняя арифметическая (M)	Медиана, (Ме)	Стандартное квадратичное отклонение, (σ)	Коэффициент вариаций, (Cv), %	Средняя ошибка средней арифметической, (m)			
Образец 1 (поверхность 1)	ТПУ	2,5-3,5	100	13.18	13.17	0,19	1,44	0,13			
Образец 1 (поверхность 1)	ТПУ	2,5-3,5	50	17,51	17,66	0,70	4,01	0,50			
Образец 1 (поверхность 1)	ТПУ	2,5-3,5	20	10,11	10,01	0,21	2,10	0,15			

Таблица 3.8. Статистические показатели плотности образцов поверхности 1 из фотополимера при

различном заполнении ячеек.

			,		Плотность, г/см3						
IIBI	иал	Размер ячейки, мм	ние		Статистические показатели						
Образ	<u> </u>		Заполнение, %	Средняя арифметическая (М)	Медиана, (Ме)	Стандартное квадратичное отклонение, (σ)	Коэффициент вариаций, (Cv), %	Средняя ошибка средней арифметической, (m)			
Образец 1 (поверхность 1)	Фотополимер	2,5-3,5	100	2,27	2,275	0,02	0,77	0,01			
Образец 1 (поверхность 1)	Фотополимер	2,5-3,5	50	1,19	1,195	0,05	4,18	0,04			
Образец 1 (поверхность 1)	Фотополимер	2,5-3,5	20	1,01	1,009	0,01	0,76	0,01			

3.9. Статистические показатели плотности образцов поверхности 1 из ТПУ при различном заполнении

ячеек. Образец 1 (поверхность 1)

				Плотность, г/см3							
цы	Материал	ep , mm	ние		Статистические показатели						
Образцы		Размер ячейки, м	Заполнение, %	Средняя арифметическая (М)	Медиана, (Ме)	Стандартное квадратичное отклонение, (σ)	Коэффициент вариаций, (Cv), %	Средняя ошибка средней арифметической, (m)			
Образец 1 (поверхность 1)	ТПУ	2,5-3,5	100	3.38	3.4645	0.27	8.11	0.09			
Образец 1 (поверхность 1)	ТПУ	2,5-3,5	50	2,63	2,618	0,03	1,27	0,02			
Образец 1 (поверхность 1)	ТПУ	2,5-3,5	20	1,82	1,824	0,02	0,80	0,02			

Таблица 3.10. Статистические показатели твердости по Шору образцов поверхности 1 из фотополимера при различном заполнении ячеек.

					Твердость по Шору Статистические показатели					
1451	Материал	ep , mm	Заполнение, %							
Образцы		Размер ячейки, м		Средняя арифметическая (М)	Медиана, (Ме)	Стандартное квадратичное отклонение, (σ)	Коэффициент вариаций, (Cv), %	Средняя ошибка средней арифметической, (m)		
Образец 1 (поверхность 1)	Фотополимер	2,5-3,5	100	81,90	83	2,64	3,23	0,88		
Образец 1 (поверхность 1)	Фотополимер	2,5-3,5	50	63,10	62	6,10	9,67	2,03		
Образец 1 (поверхность 1)	Фотополимер	2,5-3,5	20	51,30	51,5	2,50	4,87	0,83		

Таблица 3.11. Статистические показатели твердости по Шору образцов поверхности 1 из ТПУ при различном заполнении ячеек.

					Твердость по Шору					
ıtpı	иал	Материал Размер ячейки, мм Заполнение,			Статистические показатели					
Образцы	Матер			Средняя арифметическая (М)	Медиана, (Ме)	Стандартное квадратичное отклонение, (о)	Коэффициент вариаций, (Cv), %	Средняя ошибка средней арифметической, (m)		
Образец 1 (поверхность 1)	ТПУ	2,5-3,5	100	90,80	91,5	3,26	3,55	1,09		
Образец 1 (поверхность 1)	ТПУ	2,5-3,5	50	73,20	72,5	2,62	3,57	0,87		
Образец 1 (поверхность 1)	ТПУ	2,5-3,5	20	44,30	44,5	2,16	4,88	0,72		

На рис. 3.13 отображены изменения прочности при растяжении образцов из фотополимера и ТПУ при разной степени заполнения ячеек.

Прочность при растяжении, МПа

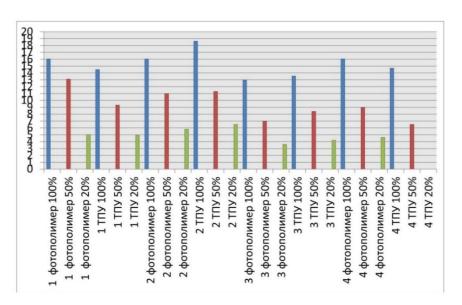


Рисунок 3.13. Гистограммы распределения прочности при растяжении образцов из фотополимера и ТПУ при разной степени заполнения ячеек.

Как видно из рис. 3.11-3.13 максимально приближены к показателям прочности резины при растяжении образцы 1,2,4 из фотополимера со 100% заполнением ячеек, и составляют:

- Образец 1 (поверхность 1) фотополимер 100% заполнения 16,034 Мпа;
- Образец 2 (поверхность 5) фотополимер 100% заполнения 16,044 Мпа;
- Образец 4 (поверхность 10) фотополимер 100% заполнения 16,025 Мпа.

Несколько ниже показателей прочности резины при растяжении имеют:

- образец 3 (поверхность 7) из фотополимера со 100% заполнением ячеек,
- -образец 2 (поверхность 5) из фотополимера с 50% заполнением ячеек и образец 3 (поверхность 7) из фотополимера с 50% заполнением ячеек, для которых они составляют:

- Образец 3 (поверхность 7) из фотополимера со 100% заполнения 12,948 Мпа;
- Образец 2 (поверхность 5) из фотополимера с 50% заполнения 13,09 Мпа;
 - Образец 3 (поверхность 7) фотополимер 50% заполнения 11,01 Мпа;

Для образцов из ТПУ значения показателя прочности при растяжении несущественно разнятся с показателями соответствующих образцов из фотополимера. Например:

- Образец 1 (поверхность 1) из ТПУ при 100% заполнении показывает прочность при растяжении 14,479 Мпа, что меньше прочности при растяжении образца 1 при 100% заполнении из фотополимера 16,034 Мпа. При 50% и 20% заполнении ячеек образца 1 (поверхности 1) из ТПУ показатели прочности при растяжении также немного ниже, чем из фотополимера.
- Образцы 2 (поверхность 5) из фотополимера и из ТПУ дают приблизительно равные показатели прочности при растяжении;
- Образец 3 (поверхность 7) из ТПУ дает чуть более высокие показатели прочности при растяжении при любом заполнении ячеек, чем из фотополимера;
- Образец 4 (поверхность 10) из ТПУ демонстрирует показатели прочности при растяжении чуть более низкие, чем образец 4 (поверхность 10) из фотополимера, при любом заполнении ячеек. Таким образом, на прочность при растяжении влияет как заполнение ячеек, так и их пространственная конфигурация. Причем показатели прочности при растяжении для образцов из фотополимера при 100% заполнения ячеек ближе к аналогичным показателям резины.

На рис. 3.14 отображены показатели удлинения при разрыве образцов из фотополимера при разной степени заполнения ячеек.

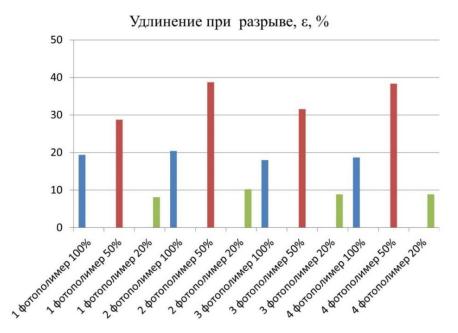


Рисунок 3.14. Гистограммы распределения удлинения при разрыве образцов из фотополимера при разной степени заполнения ячеек

На рис. 3.15 отображены показатели удлинения при разрыве образцов из ТПУ при разной степени заполнения ячеек.

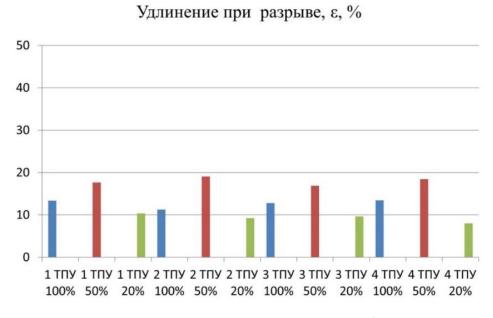


Рисунок 3.15. Гистограммы распределения удлинения при разрыве образцов из ТПУ при разной степени заполнения ячеек

На рис. 3.16 отображены показатели удлинения при разрыве образцов из фотополимера и ТПУ при разной степени заполнения ячеек.

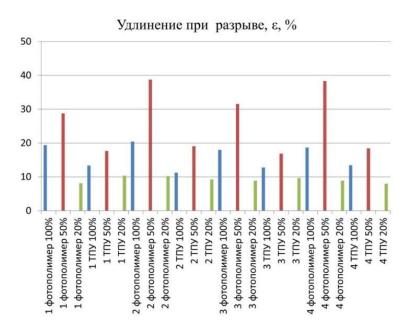


Рисунок 3.16. Гистограммы распределения удлинения при разрыве образцов из фотополимера и ТПУ при разной степени заполнения ячеек

Как видно из рис. 3.14 - 3.16 максимальные показатели удлинения при разрыве демонстрируют образцы 1 - 4 из фотополимера с 50% заполнением ячеек, для которых показатели равны:

- Образец 1 (поверхность 1) фотополимер 50% заполнения 28,74%;
- Образец 2 (поверхность 5) фотополимер 50% заполнения 38,73%;
- Образец 3 (поверхность 7) фотополимер 50% заполнения 31,56%;
- Образец 4 (поверхность 10) фотополимер 50% заполнения 38,32%;

Таким образом, удлинение при разрыве прямо пропорционально проценту заполнения ячеек и зависит от их пространственной конфигурации, отвечающей за сохранение формы образцов.

При 100% заполнении ячеек показатели удлинения образцов 1 - 4 из фотополимера с 50% заполнением ячеек составляют соответственно:

- Образец 1 (поверхность 1) фотополимер 100% заполнения 19,37%;
- Образец 2 (поверхность 5) фотополимер 100% заполнения 20,43%;
- Образец 3 (поверхность 7) фотополимер 100% заполнения 17,97%;
- Образец 4 (поверхность 10) фотополимер 100% заполнения 18,67%;

При 20% заполнении ячеек наблюдается резкое снижение показателя:

- Образец 1 (поверхность 1) фотополимер 20% заполнения 8,13%;
- Образец 2 (поверхность 5) фотополимер 20% заполнения 10,22%;
- Образец 3 (поверхность 7) фотополимер 20% заполнения 8,87%;
- Образец 4 (поверхность 10) фотополимер 20% заполнения 8,86%;

Это означает, что при низком заполнении ячеек они становятся «более хрупкими». У образцов из ТПУ наблюдается та же закономерность, но менее 100% выраженная. При заполнении образцы ячеек демонстрируют пространственную стабильность и жесткость, при 50% заполнении ячеек процент удлинения на разрыв несколько увеличивается, то есть ячейки перед разрывом проявляют незначительное удлинение, а при 20% заполнении ячеек наблюдается резкий спад показателя удлинения, то есть образцы становятся более «хрупкими». Можно сделать вывод, что структура в виде ячеек придает поверхностям пространственную стабильность, которая свойств зависит только не расходного материала и степени заполнения его ячеек, но и от их конфигурации.

На рис. 3.17 отображены показатели плотности образцов из фотополимера при разной степени заполнения ячеек.

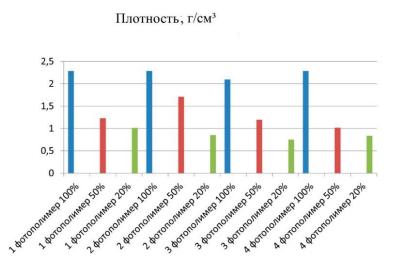


Рисунок 3.17. Гистограммы распределения плотности образцов из фотополимера при разной степени заполнения ячеек

На рис. 3.18 отображены показатели плотности образцов из ТПУ при разной степени заполнения ячеек.

Плотность, г/см3

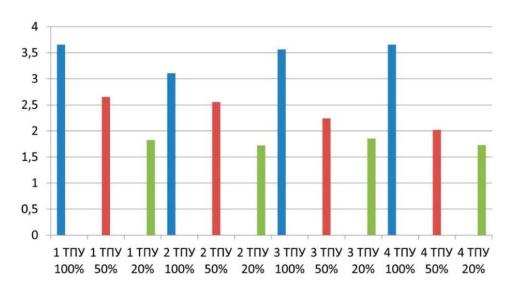


Рисунок 3.18. Гистограммы распределения плотности образцов из ТПУ при разной степени заполнения ячеек

На рис. 3.19 отображены показатели плотности образцов из фотополимеров и ТПУ при разной степени заполнения ячеек.

Плотность, г/см3

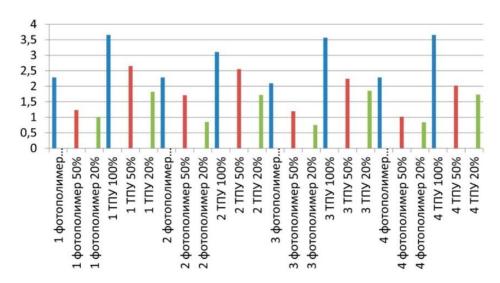


Рисунок 3.19. Гистограммы распределения плотности образцов из фотополимеров и ТПУ при разной степени заполнения ячеек

Как видно из рис. 3.17 - 3.19, показатели плотности, соответствующие ГОСТ Р 54553-2019, демонстрируют следующие образцы:

- Образец 1 (поверхность 1) фотополимер 50% заполнения 1,231 г/см³;
- Образец 2 (поверхность 5) фотополимер 50% заполнения 1,709 г/см³;
- Образец 3 (поверхность 7) фотополимер 50% заполнения 1,195 г/см³;
- Образец 4 (поверхность 10) фотополимер 50% заполнения 1,117 г/см³;
- Образец 1 (поверхность 1) ТПУ 20% заполнения 1,824 г/см³;
- Образец 2 (поверхность 5) ТПУ 20% заполнения 1,724 г/см³;
- Образец 3 (поверхность 7) ТПУ 20% заполнения 1,856 г/см³;
- Образец 4 (поверхность 10) ТПУ 20% заполнения 1,731 г/см³;

При увеличении заполнения ячеек показатели плотности по Шору пропорционально увеличиваются, причем у образцов из ТПУ они выше, чем у образцов из фотополимеров:

- •Образец 1 (поверхность 1) фотополимер 100% заполнения 2,286 г/см³;
- •Образец 2 (поверхность 5) фотополимер 100% заполнения 2,286 г/см³;
- •Образец 3 (поверхность 7) фотополимер 100% заполнения 2,098 г/см³;
- •Образец 4 (поверхность 10) фотополимер 100% заполнения 2,286 г/см³;
- •Образец 1 (поверхность 1) ТПУ 100% заполнения 3,657 г/см³;
- •Образец 2 (поверхность 5) ТПУ 100% заполнения 3,108 г/см³;
- •Образец 3 (поверхность 7) ТПУ 100% заполнения 3,567 г/см³;
- •Образец 4 (поверхность 10) ТПУ 100% заполнения 3,657 г/см³.

Для образцов с регулярной структурой решетки без градиента величины, показатели немного выше. То есть, значение плотности зависит не только от свойств расходного материала и плотности заполнения его ячеек, но и от их пространственной конфигурации.

Обратимся к характеристике твердости по Шору образцов, принятых к исследованию. На рис. 3.20. представлены гистограммы распределения твердости по Шору образцов из фотополимеров при разной степени заполнения ячеек.

Твердость по Шору, А

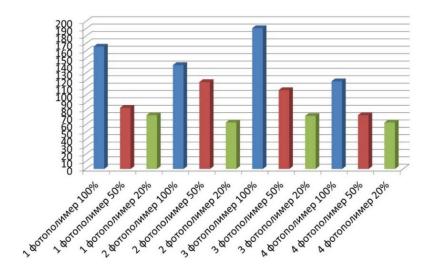


Рисунок 3.20. Гистограммы распределения твердости по Шору образцов из фотополимеров при разной степени заполнения ячеек

На рис. 3.21 отображены показатели твердости по Шору у образцов из ТПУ при разной степени заполнения ячеек.

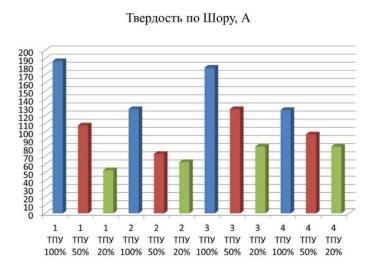


Рисунок 3.21. Гистограммы распределения твердости по Шору образцов из ТПУ при разной степени заполнения ячеек

На рис. 3.22 для сравнения отображены показатели твердости по Шору образцов из фотополимера и ТПУ при разной степени заполнения ячеек.

Твердость по Шору, А

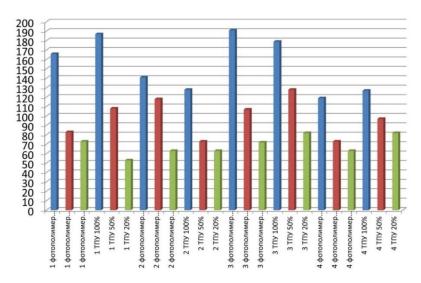


Рисунок 3.22. Сравнительные гистограммы распределения твердости по Шору образцов из фотополимера и ТПУ при разной степени заполнения ячеек

Как видно из рис. 3.20 - 3.22 показатели твердости по Шору, соответствующие ГОСТ Р 54553-2019, демонстрируют следующие образцы:

- Образец 1 (поверхность 1) фотополимер 50% заполнения 83;
- Образец 1 (поверхность 1) фотополимер 20% заполнения 73;
- Образец 1(поверхность 1) ТПУ 20% заполнения 52;
- Образец 2 (поверхность 5) фотополимер 20% заполнения 63;
- Образец 2 (поверхность 5) ТПУ 50% заполнения 74;
- Образец 2 (поверхность 5) ТПУ 20% заполнения 62;
- Образец 3 (поверхность 7) фотополимер 20% заполнения 72;
- Образец 3 (поверхность 7) ТПУ 20% заполнения 81;
- Образец 4 (поверхность 10) фотополимер 50% заполнения 73;
- Образец 4 (поверхность 10) фотополимер 20% заполнения 64;
- Образец 4 (поверхность 10) ТПУ 20% заполнения 78;

При увеличении заполнения ячеек показатели твердости по Шору пропорционально увеличиваются, причем у образцов из ТПУ они выше, чем у образцов из фотополимеров, за исключением образца 3 поверхности 7.

На следующем этапе проведено сравнение результатов лабораторных исследований с показателями материалов подошв, используемых на АО «Егорьевск-обувь» (табл. 3.12). По результатам испытаний в производстве отдельных экспериментальных выявлено, что показатели материалов, табл. 3.13, близки к показателям приведенных в плотности по Шору контрольной резины, подошвы ТЭП ANNA 2 (для сапог, ботинок, осень-весна), подошвы ф.JEANS - ТЭП (туфли или ботинки малодетские, девичьи, осеньвесна), подошва ТЭП туфель летних модели 322107-25, используемых на АО «Егорьевск-обувь».

Таблица 3.12. Показатели физико-механических свойств материалов подошв, используемых на АО «Егорьевск-обувь»

Подошва	Материал подошвы	Плотность г/см ³	Потеря массы, мг
ПУ-смесь BASF	ПУ	0,439	,
ПУ-смесь DOW демисезонная	ПУ	0,438	
ПУ-смесь DOW морозостойкая	ПУ	0,487	
Отливка из	ПУ	0,506	
Курска, А ES 355/200	ПУ	0,501	
B ISO 180/10 C Flex 260/RH	ПУ	0,487	
Подошва ф.JEANS	ПЄТ	0,925	200
Контрольная резина		1,33	310
ПУ-смесь "Kimpur" морозостойкая	ПУ	0,492	
ПУ-смесь "Кітриг" промежуточная	ПУ	0,504	
Подошва ф.Igor, цв. черный	ПЄТ	0,747	
Подошва ANNA 2	ПЄТ	0,986	339.3
Подошва, м. 441011-15	ЭВА	0,227	
Туфли летние, м. 322107-25	ПЄТ	0,96	271.3

Пляжная обувь м. 521074-11	ЭВА	0,21	
Кроссовка м. 644389-11 (Китай)	ЭВА	0,276	
Кроссовка м. 644387-12 (Китай)	ЭВА	0,325	
Кроссовка м. 644389-12 (Китай)	ЭВА	0,236	
Подошва ф.Igor, цв. пудра	ПЄТ	0,491	

Таблица 3.13. Показатели плотности экспериментальных материалов

	Материал	Размер ячейки, мм	Заполнение, %	Плотность, $\Gamma/\text{см}^3$				
Образцы				Статистические показатели				
				Средняя арифметическая (M)	Медиана, (Ме)	Стандартное квадратичное отклонение, (σ)	Коэффициент вариаций, (Cv), %	средней арифметической, (m)
Образец 1 (поверхность 1)	Фотополимер	2,5-3,5	50	1,19	1,195	0,05	4,18	0,04
Образец 1 (поверхность 1)	Фотополимер	2,5-3,5	20	1,01	1,009	0,01	0,76	0,01
Образец 2 (поверхность 5)	Фотополимер	2,5-3,5	20	0,84	0,838	0,03	1,63	0,03
Образец 3 (поверхность 7)	Фотополимер	2,5-3,5	50	1,20	1,207	0,06	4,19	0,05
Образец 3 (поверхность 7)	Фотополимер	2,5-3,5	20	0,85	0,848	0,03	1,65	0,03
Образец 4 (поверхность 10)	Фотополимер	2,5-3,5	50	1,01	1,009	0,01	0,76	0,01
Образец 4 (поверхность 10)	Фотополимер	2,5-3,5	20	0,78	0,838	0,03	1,62	0,03

Следовательно, можно предположить, что показатель потери массы (истираемость) для экспериментальных материалов будет примерно таким же, как и для материалов подошв, используемых на АО «Егорьевск- обувь».

3.3 Концепция коммерциализации предложенных методик параметрического проектирования материалов с реконфигурируемой структурой и быстрой 3D-печати обуви в формате мобильных салонов

На фоне высокоскоростного развития технологий числового программного управления, параметризация обеспечивает новый способ реализации тиражирования, способствует сочетанию художественного дизайна и цифрового производства, гибко обновляя продукты и своевременно удовлетворяя рыночный [112]. условиях все более жесткой рыночной В конкуренции, персонализированные И разнообразные требования потребителей поколения, привели к существенным противоречиям между стандартизацией и индивидуализацией в крупномасштабном промышленном производстве [113]. Тиражирование продукта систематический метод ЭТО проектирования, адаптирующийся к современной экономике и новым условиям ведения бизнеса. Инструменты проектирования быстро параметрического позволяют разрабатывать и динамически редактировать серии дизайнерских разработок.

Серийный дизайн зависит от соотношения таких параметров одного и того же типа продукта, как: размер, форма, структура, детализация, цвет, материалы и т.д. Успешная модель может увеличить добавленную стоимость продукции и повысить ее конкурентоспособность на рынке [114-117]. Проектирование серии продуктов должно основываться на исследованиях рынка и потребностях пользователей. Серийные продукты должны поддерживать единый стиль, достигать единообразия даже при дальнейшей модернизации.

В процессе проектирования серии продуктов целесообразно исходить из следующего:

• творческая идея, ядро: концепция или структурная форма, элемент моделирования и т. д., чтобы сделать серию заметной;

- ясный смысл серии: визуально расставленные приоритеты, чтобы каждое изделие в серии имело свои собственные характеристики, но, при этом, воспринималось как часть единой концепции;
 - возможности для унификации элементов серии;
 - возможности для внесения изменений [118,119].

Гибкость метода, тиражирование продукции положительно сказываются на затратах на проектирование и производство новых изделий, обеспечивая долговечность линейки продуктов, формирует корпоративный имидж и расширяет влияние бренда, что способствует повышению его узнаваемости.

В области промышленного производства параметрический дизайн часто используется для создания моделей изделий, сложных моделей поверхностей (например, описанных в предыдущих разделах) [120-122]. При проектировании одной и той же серии дизайнерам не нужно начинать с нуля. Широкий спектр возможностей и инструментов параметрического проектирования используется в серийном дизайне бытовой техники, мебели и товаров народного потребления (рис. 3.23).



Рисунок 3.23. Пример дизайн-проектов скамейки Чжана Чжоудзе, (из открытых источников Internet)

Например, проект дизайна скамейки Чжана Чжоудзе построен на платформе параметрического проектирования Rhino+Grasshopper и новейшей программной среде с открытым исходным кодом [123-125]. Основная идея проекта состоит в том, чтобы исследовать смоделированную форму цифровых

объектов [126]. Настраивая программы и оптимизируя логику, дизайнер может «свободно» создавать художественные формы и сочетать художественный дизайн с цифровым производством [127].

В последние годы Grasshopper постепенно становится популярным программным обеспечением для параметрического проектирования в области промышленного дизайна. Он обладает характеристиками визуализации и динамичности, совмещая традиционные операции ручного моделирования и автоматический расчет [128, 129].

Общая схема процедуры параметрического проектирования серийных изделий в соответствии с результатами предварительных исследований и позиционированием проекта включает:

- идеи для разработки серии,
- требования к конечному продукту;
- ограничения в дизайне;
- количественную и качественную оценки алгоритмов в параметрического дизайна, цифровых моделей и конечных продуктов [130].

Например, возьмем дизайн подошвы кроссовок и проанализируем разработку персонифицированной серии.

Используя представление об изображении физического явления «рябь воздуха на воде» в качестве идеи дизайна, проанализируем ограничения и установим такие функциональные и морфологические параметры, как длина и ширина прототипа, направление и высота волнистости и т.д.

Используя Rhinoceros и Grasshopper создадим линейный ряд, демонстрирующий изменения базового дизайна (рис. 3.24).

В соответствии с экономическими характеристиками продукта разработаем правила оценки и выберем несколько схем, наиболее близких к целям проектирования и функциональными требованиям продукта, с учетом таких факторов, как материал, технология и конструкция. Можно выбрать, например, три типа из серии моделей дизайна.

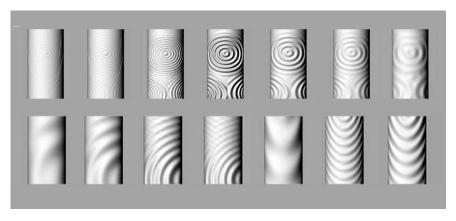


Рисунок 3.24. Ряд моделей, полученных в результате изменения базового элемента дизайна «рябь воздуха на воде» (из открытых источников Internet)

Затем соответствующим образом отрегулируем размеры и текстуру. В результате чего получим конечные формы поверхности: абстрактный укрупненный сегмент рисунка концентрических кругов; более регулярные концентрические круги и концентрические дуги (рис. 3.25). Здесь базовый элемент дизайна «рябь воздуха на воде» отражает смысл серии, выполняет функцию противоскольжения и теплоизоляции.

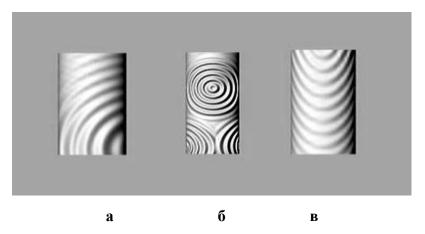


Рисунок 3.25. Примеры моделирования формы поверхности: абстрактный укрупненный сегмент рисунка концентрических кругов (а), более регулярные концентрические круги (б), концентрические дуги (в) (из открытых источников Internet)

В соответствии с маркетинговыми данными, отзывами можно обобщить проблемы и улучшить серию дизайнов продукта [131]. Но существуют и трудности в применении параметрического проектирования для тиражирования изделий:

1) компоненты в Grasshopper включают в себя: векторную алгебру,

тригонометрию, геометрическое моделирование и т.д., поэтому нужно обладать четким логическим мышлением и базовыми математическими знаниями;

- 2) система генерации трехмерной модели довольно сложная и включает написание соответствующего алгоритма. Поэтому в процессе проектирования нужно анализировать ограничения по множеству типов данных и взаимосвязь между ними;
- 3) главный вопрос заключается не в моделировании, а в том, с помощью каких алгоритмов создается форма и каковы законы, регулирующие ее морфологические изменения;
- 4) при определении состава продуктовой линейки необходимо установить эффективную, комплексную систему оценки выбора алгоритма наилучшего моделирования.

Нами предложен план коммерциализации разрабатываемых методик параметрического проектирования экспериментальных материалов и быстрой 3D-печати индивидуальной обуви из этих материалов в формате мобильных салонов [132].

Базовый технологический цикл (рис. 3.36) будет состоять из следующих этапов:

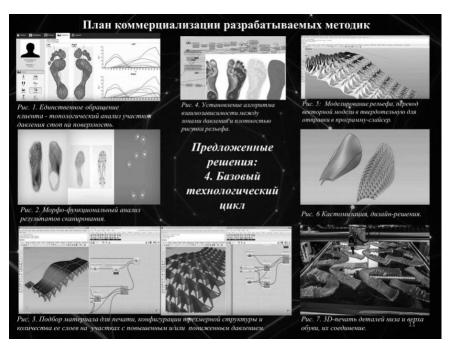


Рисунок 3.38. Базовый технологический цикл

- 1. Единственное обращение клиента в мобильный салон, с целью выбора модели из каталога или разработки индивидуальной совместно со специалистом, который проводит сканирование стоп, анализ распределения их давления на опорную поверхность и интерпретирует результаты исследования. Клиент получает цифровую скан-модель своих стоп на цифровом носителе; при необходимости, дополнительно консультируется с дизайнером и ортопедом листанционно.
- 2. После получения заказа, специалист проводит более детальный морфо-функциональный анализ результатов сканирования плантарной поверхности стопы.
- 3. Далее проводится подбор материалов для печати в зависимости от конфигурации трехмерной структуры и количества ее слоев, величины давления.
- 4. Устанавливается алгоритм взаимозависимости между зонами давления и плотностью рисунка рельефа.
- 5. Проводится моделирование рельефа, перевод векторной модели в твердотельную для отправки в программу подготовки к 3D -печати.
- 6. Создается новый дизайн деталей будущей обуви. При необходимости производится кастомизация готового дизайн-решения из каталога.
- 7. Непосредственно в салоне или в центральном офисе (в зависимости от сложности проекта) производится 3D-печать деталей низа и верха обуви, их соединение [133].

Технологический цикл расширения (рис. 3.37):

- 1. Дополнительные профилактические средства, например, одноразовые носки из баллончика со специальным наноспреем.
- 2. Услуги по сбору отслужившей 3D-обуви для дальнейшей переработки или trade-in старой обуви.
- 3. «Конструктор» из отдельных элементов (подошвы, детали верха, индивидуальные колодки, 3D-модели стоп клиента на цифровом носителе), 3D-

ручки и соответствующие полимеры для самостоятельной кастомизации в домашних условиях.



Рисунок 3.37. Технологический цикл расширения

4. Интеграция в обувь систем эластичных сенсоров, для своевременной диагностики и профилактики заболеваний опорно-двигательного аппарата. И мобильное приложение «умной обуви» для своевременного оповещения о нарушениях в работе опорно-двигательного аппарата [134-136].

Оптимальная структура (рис. 3.38):



Рисунок 3.38. Оптимальная структура сети мобильных офисов

Оптимальная структура сети мобильных салонов 3D-печати обуви, на наш взгляд, должна включать:

- 1. Один головной офис, в котором находятся один дизайнер, один технолог, один ортопед, а также цифровая база моделей, колодок, подошв, материалов сервере.
- 2. N-количество мобильных салонов, оснащенных всем необходимым оборудованием, в которых находится один оператор, который управляет 3-D-сканером, 3-D-принтером, коммуницирует с клиентами, курьерской службой и головным офисом, принимает и выдает заказы.
- 3. Логистический отдел-склад, связывающий сеть с центром поставки, доставляющий заказы клиентам, занимающийся транспортными перевозками.

осуществляется Обшение клиента \mathbf{c} дизайнером ортопедом И дистанционно, через информационный портал компании или мобильное режиме 24/7. Также возможна разработка приложение виртуального или приложения для примерки изделия перед доставкой В процессе производства/переделки.

Обувь доставляется клиенту курьером или почтой, (возможен самовывоз).

Мобильность позволяет не привязываться к локации и перемещать салон в точки максимального скопления целевой аудитории (различные социальные центры, мероприятия и т.п.).

выводы по третьей главе

Проведены:

- лабораторные исследования образцов экспериментальных материалов;
- анализ полученных данных образцов экспериментальных материалов с реконфигурируемой трехмерной структурой;

Выявлено, что:

- удлинение при разрыве прямо пропорционально проценту заполнения ячеек структура которых придает поверхностям пространственную стабильность, которая зависит не только от свойств расходного материала и степени заполнения его ячеек, но и от их конфигурации отвечающей за сохранение формы образцов..
- значение плотности зависит не только от свойств расходного материала и плотности заполнения его ячеек, но и от их пространственной конфигурации.
- при увеличении заполнения ячеек показатели твердости по Шору пропорционально увеличиваются, причем у образцов из ТПУ они выше, чем у образцов из фотополимеров, за исключением образца 3 поверхности 7.
- к показателям плотности по Шору контрольной резины, подошвы ТЭП ANNA 2 (для сапог, ботинок, осень-весна), подошвы ф.ЈЕANS ТЭП (обычно на туфли или ботинки малодетские, девичьи, осень-весна), подошва ТЭП туфель летних, модели 322107-25, используемых на АО «Егорьевск- обувь», по результатам испытаний наиболее близки показатели отдельных экспериментальных материалов.

Предложены:

• аргументы, обосновывающие использование параметрического проектирования Grasshopper для реализации тиражирования товаров народного потребления, как эффективного инструмента и источника инноваций;

Разработаны:

• общий план коммерциализации методики параметрического проектирования экспериментальных материалов и быстрой 3D-печати индивидуальной обуви из этих материалов в формате мобильных салонов, базовый технологический цикл и цикл его расширения.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

- 1. Проанализирован текущий уровень состояния современных методов 3D-печати, с точки зрения реализуемой в них технологии и применяемых расходных материалов. Подробно рассмотрены методы 3D-печати, предусматривающие использование полимерного сырья. Приведены основные марки полимеров и композиций на их основе, температурные параметры переработки методом 3D-печати, а также преимущества и недостатки, степень их экологичности.
- 2. Показано место материалов с реконфигурируемой структурой в науке, технике и производстве товаров народного потребления. Выявлено, что для современных материалов в производстве одежды и обуви предпочтительны динамические решетчатые структуры, которые характеризуются высокой упругостью при больших деформациях за счет геометрии самого материала и могут быть изготовлены с помощью 3D-печати.
- 3. Изучены и обобщены теоретические исследования в области закономерностей формообразования реконфигурируемых трехмерных материалов.
- 4. Выявлены и систематизированы особенности параметрических чертежей и процессов проектирования плоских и объемных форм методами параметрики, а также материалов с реконфигурируемой структурой.
- 5. Даны общее представление о принципах параметрического проектирования материалов с реконфигурируемой трехмерной структурой и оценка анатомофизиологических особенностей стоп. Рассмотрены принципы заполнения контура или поверхности кругами на основе триангуляции и частные случаи нодовых скриптов заполнения кругами поверхностей и контуров по рисункам и без, что позволило:
 - разработать:
- частные случаи алгоритмов заполнения кругами поверхностей и контуров: на основе изображений и без них;

- параметрический алгоритм перевода давления стопы в структуру стельки или подошвы, плотность рисунка которых в той или иной области зависит от силы давления стопы;
- частные случаи параметрического алгоритма перевода давления стопы в структуру стельки или подошвы.
- 6. Предложена база данных из 48 цифровых моделей экспериментальных поверхностей с реконфигурируемой структурой;
- 7. Продемонстрирована работа нодовых скриптов экспериментальных материалов с реконфигурируемой трехмерной структурой на примере 3D —печати образцов материалов с реконфигурируемой трехмерной структурой №1, №5, №7, №10.
- 8. Установлены физико-механические свойства напечатанных на 3D –принтере образцов экспериментальных материалов с реконфигурируемой трехмерной структурой из разных видов филаментов и их сочетаний. Выполнен их анализ.
- 9. Выявлено, что:
- удлинение при разрыве прямо пропорционально проценту заполнения ячеек структура которых придает поверхностям пространственную стабильность, которая зависит не только от свойств расходного материала и степени заполнения его ячеек, но и от их конфигурации отвечающей за сохранение формы образцов;
- значение плотности зависит не только от свойств расходного материала и плотности заполнения его ячеек, но и от их пространственной конфигурации.
- при увеличении заполнения ячеек показатели твердости по Шору пропорционально увеличиваются, причем у образцов из ТПУ они выше, чем у образцов из фотополимеров, за исключением образца 3 поверхности 7.
- к показателям плотности по Шору контрольной резины, подошвы ТЭП ANNA 2 (для сапог, ботинок, осень-весна), подошвы ф. JEANS ТЭП (обычно на туфли или ботинки малодетские, девичьи, осень-весна), подошва ТЭП туфель летних, модели 322107-25, используемых на АО «Егорьевск- обувь», по результатам испытаний наиболее близки показатели отдельных экспериментальных материалов.

- 10. Представлен общий план коммерциализации методики параметрического проектирования экспериментальных материалов и быстрой 3D-печати индивидуальной обуви из этих материалов в формате мобильных салонов, базовый технологический цикл и цикл его расширения.
- 11. Отдельные положения диссертации прошли апробацию в условиях АО «Егорьевск-обувь», результаты которой подтверждают эффективность предложенных решений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Указ Президента РФ от 21 июля 2020 г. № 474 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года». Указ Президента РФ от 21 июля 2020 г. № 474. Текст : электронный // Администрация Президента России : [сайт]. URL: http://kremlin.ru/ events/ president/ news/ 63728 (дата обращения: 15.11.2021).
- Указ Президента Российской Федерации от 31 декабря 2015 года № 683 «О Стратегии национальной безопасности Российской Федерации.. —
 Текст: электронный // Администрация Президента России: [сайт]. URL:

http:// kremlin.ru/ acts/ bank/ 40391 (дата обращения 03.09.2021)

3. Указ Президента Российской Федерации от 09.05.2017 № 203 «О Стратегии развития информационного общества в Российской Федерации на 2017 - 2030 годы.— Текст: электронный // Администрация Президента

России: [сайт] — URL: http://www.kremlin.ru/acts/bank/41919/page/2

России: [сайт]. — URL: http:// www.kremlin.ru/ acts/ bank/ 41919/ page/ 2 (дата обращения 03.09.2021)

4. Указ Президента РФ от 1 декабря 2016 г. № 642 «О Стратегии научнотехнологического развития Российской Федерации».— Текст: электронный // Администрация Президента России : [сайт]. — URL: http:// kremlin.ru/acts/bank/41449 (дата обращения 03.09.2021)

- 5. Указ Президента Российской Федерации «Об утверждении приоритетных направлений развития науки, технологий и техники в Российской Федерации и перечня критических технологий Российской Федерации (В редакции от 16.12.2015 № 623) URL: https://mchs.gov.ru/dokumenty/vse-dokumenty/633
- 6. Сводная стратегия развития обрабатывающей промышленности Российской Федерации до 2024 года и на период до 2035 года. Распоряжение Правительства РФ от 6 июня 2020г. N° 1512-р. URL: https://www.garant.ru/products/ ipo/prime/doc/74142592/
- 7. Коновалова О.Б., Костылева В.В. Экзоскелетон роботизированный костюм будущего.//Материалы международного научно-исследовательского конкурса научно-практических работ студентов, аспирантов и сотрудников ВУЗов. 2019. С. 20-29.
- 8. Коновалова О.Б., Костылева В.В. Актуальные тенденции развития легкой и текстильной промышленности», Тезисы докладов 72-ой Внутривузовской научной студенческой конференции «Молодые ученые инновационному развития общества (МИР-2020)», посвященная Юбилейному году в ФГБОУ ВО «РГУ им. А.Н. Косыгина», Том 5, https://kosygin-rgu.ru/naukan/rabota_stud/konf-MGUDT-vnutrivuzovskie.aspx
- 9. https://novate.ru/blogs/180613/23241/
- 10. https://www.1000ideas.ru/article/biznes/moda-krasota-zdorove/biznes-ideya-4862-3d-pechatnaya-obuv-krossovki-iz-printera/
- 11. https://www.1000ideas.ru/article/biznes/moda-krasota-zdorove/biznes-ideya-4862-3d-pechatnaya-obuv-krossovki-iz-printera/
- 12. Самовосстанавливающаяся обувь для бега, сделанная из 3D печатных протоклеток. URL: http://www.3dindustry.ru/article/1655/
- 13. https://ctelki.ru/ortopedicheskie/stelki-s-pamyatyu/
- 14. https://electronics-review.ru/opengo-umnye-stelki-dlya-sporta-i-reabilitacii/
- 15. https://www.pinterest.ca/siramolonsri/

- 16. https://4ipping.com/krossovki-shiftwear/
- 17. https://neuronus.com/news-tech/585-digitsole-stelki-s-iskusstvennym-intellektom.html
- 18. <u>https://mioby.ru/novosti/lebron-zoom-soldier-8-flyease-nike-vypustila-krossovki-dlya-invalidov/</u>
- 19. Коновалова О.Б., Минец В.В., Бокова Е.С., Костылева В.В., Белицкая О.А., «Полимерные материалы для 3D -печати и возможность их применения в обувном производстве: ассортимент пластмасс инновационной функциональности», «Известия вузов. Технология текстильной промышленности», Иваново 2021 № 5 (395), 2021, с.262-267
- 20. Коновалова О. Б., Костылева В. В., Федосеева Е. В. Особенности создания обуви с использованием 3D-технологий и 3D-печати. Научный журнал «Костюмология». 2022, №1, Том 7. // Костюмология. 2022 №1. URL: https://kostumologiya.ru/PDF/04TLKL122.pdf
- 21. O. B. Konovalova and E.M. Yumashev, «3D printing of individual shoes using natural fibers», Opportunities and Prospects/International Conference on Textile and Apparel Innovation (ICTAI 2021) https://aip.scitation.org/toc/ apc/2430/1? windowStart=50&size=50
- 22. Коновалова О.Б., Костылева В.В. Моделирование и прототипирование в легкой промышленности». Сборник докладов Всероссийской научной конференции молодых исследователей с международным участием «Инновационное развитие техники и технологий в промышленности (ИНТЕКС-2021)», часть 1, стр. 140 -145.
- 23. Зыбин Ю. П., Кочеткова Т. С, Ключникова В. М. и др, Практикум по конструированию изделий из кожи/, М., 1972, , с. 148—152.
- 24. Дом моделей обуви «АКТРА» Основы проектирования верха обуви. Методическое пособие для модельера-конструктора. Часть 1,2. Москва, 1992.
- 25. Рощупкина Д.В., Ключникова В.М., Костылева В. В. Получение условной развертки боковой поверхности колодки по методике немецкой обувной школы

- города Пирмазенс Deutsche Schuhfachschule. [Текст] // Дизайн и технологии. 2017. №62 (104).
- 26. В.Л. Раяцкас, Ю.П. Зыбин. Построение условных разверток боковой поверхности колодки по жесткой оболочке / // Известия вузов. Технология легкой промышленности, 1963, − № 1, 126-137 с.
- 27. Фукин В.А., Буй В.Х. Развитие теории и методологии проектирования внутренней формы обуви. Русско-английское издание- монография.- М.ФГБОУ ВПО «МГУДТ». 2015.- 428 с.
- 28. С.А. Манченко, Л.Н. Плужников, Е.Ю. Мурзин Создание непрерывных описаний поверхностей с помощью МКЭ// Изв. вузов. Технология легкой промышленности. 1991. № 6. 82 с.
- 29. А.А. Никитин Исследование способов формования заготовки с целью получения контуров деталей верха обуви при помощи ЭВМ: дис. ...канд. техн. наук. М.: МТИЛП, 1980. 210 с.
- 30. Л.Н. Кузнецова Исследование типовых конструкций верха с целью разработки конструкторской документации при автоматизированном проектировании: дис. канд. техн. наук.- М.: 1981, 160 с.
- 31. В.Г. Бекк Разработка математического обеспечения процесса проектирования обувной заготовки, формуемой на автоматизированных обтяжно-затяжных машинах: дис. ... канд. техн. наук: М., 1989, 230 с.
- 32. Е. М. Глазунова, И. Н. Пыченкова. Применение системы AutoCAD для проектирования обуви / // Кожевенно-обувная промышленность. 1992, № 8, с. 22 33 В. М. Стрельченя, К. Г. Евченко., Комплексные решения компании Delcam для проектирования и изготовления обуви [текст] // САПР и графика, 2008, №2. 33 с.
- 34. Manual of Shoemaking. / Under edition of R.G. Miller. Produced By the Trading Department Clarks, 1989. 337 p.
- 35. Lectra-Marktfiihrer in Brasilien // Schuh-Techn. Int. 1995. 89, № 1 2. -P. 24-25.

- 36. Gerber Hiera mit Partner //Schuh-Techn. Int. Schuh-Techn. + ABC. 1997.- 91, № 1 -2.-P. 6
- 37. Zhang C.H., Zheng X.J., Tang K.Y. Study on the three-dimensional stress-relaxation diagram of cattlehide shoe upper leathers Original Research Article Materials Science and Engineering: A, Volume 499, Issues 1–2, 15 January 2009, Pages 167-170
- 38. Emma J. Pratt, Mark L. Reeves, Jill M. van der Meulen, Ben W. Heller, Tim R. G. The development, preliminary validation and clinical utility of a shoe model to quantify foot and footwear kinematics in 3-D Original Research Article Gait & Posture, Volume 36, Issue 3, July 2012, Pages 434-438
- 39. Pasquale Franciosa, Salvatore Gerbino, Antonio Lanzotti, Luca Silvestri Improving comfort of shoe sole through experiments based on CAD-FEM modeling Original Research Article Medical Engineering & Physics, Volume 35, Issue 1, January 2013, Pages 36-46
- 40. Костылева В.В. Исследование и разработка способа представления геометрической информации о поверхности обувной колодки с целью ее автоматизированного проектирования: Дис.канд. техн. наук. М., 1981.-203с.
- 41. Киселев С.Ю. Разработка элементов САПР технологической оснастки обуви., Дис .канд. техн. наук. М., 1990, 179с.
- 42. Разин И.Б. Программное управление процессов раскроя рулонных и листовых материалов в кожгалантерейном производстве: Дис. . канд. техн. наук. -М.,1987.
- 43. Калита А.Н. Конструкторско-технологические проблемы программированного проектирования обуви: Дис. ... доктора технических наук.- Москва, 1984. 452 с.
- 44. Бекк В.Г. Разработка математического обеспечения процесса проектирования обувной заготовки, формуемой на автоматизированных обтяжно-затяжных машинах: Дисс. . канд. техн. наук. М., 1989. 230 с.
- 45. Бекк Н. В. Развитие теоретических и методологических основ формирования промышленных коллекций изделий из кожи с использованием информационных технологий: Дис. ... доктора технических наук.- Москва, 2002. 450 с-

- 46. Буй В. Х. Разработка метода получения антропометрических данных и проектирования внутренней формы обуви с использованием цифровых и информационных технологий (На примере антропометрии вьетнамских школьников): Дис. ... канд. техн. наук.- Москва, 2006. 200 с.
- 47. Reis, P. M., Jaeger, H. M. & van Hecke, M. Designer matter: a perspective. Extreme Mech. Lett. 5, 25–29 (2015).
- 48. Sarrao, J. & Crabtree, G. Progress in mesoscale science. MRS Bull. 40, 919–922 (2015).
- 49. Christensen, J., Kadic, M., Kraft, O. & Wegener, M. Vibrant times for mechanical metamaterials. MRS Commun. 5, 453–462 (2015).
- 50. Pendry, J. B. Negative refraction makes a perfect lens. Phys. Rev. Lett. 85, 3966–3969 (2000).
- 51. Smith, D. R., Pendry, J. B. & Wiltshire, M. C. K. Metamaterials and negative refractive index. Science 305, 788–792 (2004).
- 52. Lakes, R. Foam structures with a negative Poisson's ratio. Science 235, 1038–1040 (1987).
- 53. Zheng, X. et al. Ultralight, ultrastiff mechanical metamaterials. Science 344,1373–1377 (2014).
- 54. Meza, L. R., Das, S. & Greer, J. R. Strong, lightweight, and recoverablethree-dimensional ceramic nanolattices. Science 345, 1322–1326 (2014).
- 55. Ergin, T., Stenger, N., Brenner, P., Pendry, J. B. & Wegener, M. Three-dimensional invisibility cloak at optical wavelengths. Science 328, 337–339 (2010).
- 56. Bückmann, T., Kadic, M., Schittny, R. & Wegener, M. Mechanical cloak design by direct lattice transformation. Proc. Natl Acad. Sci. USA 112, 4930–4934 (2015).
- 57. Manan Arya, Method of Packaging and Deployment of Large Membranes in Space. Report No. 618, https://repository.exst.jaxa.jp/dspace/handle/a-is/7293 (Institute of Space and Astronautical Science, 1985).
- 58. Wei, Z. Y., Guo, Z. V., Dudte, L., Liang, H. Y. & Mahadevan, L. Geometric mechanics of periodic pleated origami. Phys. Rev. Lett. 110, 215501 (2013).

- 59. Schenk, M. & Guest, S. D. Geometry of miura-folded metamaterials. Proc. Natl Acad. Sci. USA 110, 3276–3281 (2013).
- 60. Silverberg, J. L. et al. Using origami design principles to fold reprogrammable mechanical metamaterials. Science 345, 647–650 (2014).
- 61. Cheng Lv, C., Krishnaraju, D., Konjevod, G., Yu, H. & Jiang, H. Origami based mechanical metamaterials. Sci. Rep. 4, 5979 (2014).
- 62. Waitukaitis, S., Menaut, R., Chen, B. G. & van Hecke, M. Origami multistability: from single vertices to metasheets. Phys. Rev. Lett. 114, 055503 (2015).
- 63. Dudte, L. H., Vouga, E., Tachi, T. & Mahadevan, L. Programming curvature using origami tessellations. Nat. Mater. 15, 583–588 (2016).
- 64. Silverberg, J. L. et al. Origami structures with a critical transition to bistability arising from hidden degrees of freedom. Nat. Mater. 14, 389–393 (2015).
- 65. Hawkes, E. et al. Programmable matter by folding. Proc. Natl Acad. Sci. USA 107, 12441–12445 (2010).
- 66. Tachi, T. & Miura, K. Rigid-foldable cylinders and cells. J. Int. Assoc. Shell Spat. Struct. 53, 217–226 (2012).
- 67. Filipov, E. T., Tachi, T. & Paulino, G. H. Origami tubes assembled into stiff, yet reconfigurable structures and metamaterials. Proc. Natl Acad. Sci. USA 112, 12321–12326 (2015).
- 68. Cheung, K. C., Tachi, T., Calisch, S. & Miura, K. Origami interleaved tube cellular materials. Smart Mater. Struct. 23, 094012 (2014).
- 65. Yasuda, H. & Yang, J. Re-entrant origami-based metamaterials with negative poisson's ratio and bistability. Phys. Rev. Lett. 114, 185502 (2015).
- 69. Goldman, F. Using the snapology technique to teach convex polyhedra. In Origami Vol. 5 (eds Wang-Iverson, P., Lang, R. & Yim, M.) 99–110 (CRC Press, 2011).
- 70. Strobl, H. Special Snapology http://www.knotology.eu/PPP-Jena2010e/start. html (2010).

- 71. Overvelde, J. T. B. et al. A three-dimensional actuated origami-inspired transformable metamaterial with multiple degrees of freedom. Nat. Commun.7, 10929 (2016).
- 72. Felton, S., Tolley, M., Demaine, E., Rus, D. & Wood, R. A method for building self-folding machines. Science 345, 644–646 (2014).
- 73. Коновалова О.Б., Костылева В.В., Юмашев Е.М Кинетические поверхности оригами в дизайне//Научн. журнал; Дизайн и технологии, 2020, № 75(117). С.25-29
- 74. Коновалова О. Б., Костылева В. В., Федосеева Е. В., Рощупкина Д.В. Процессы проектирования обуви с позиций параметрики // Костюмология. 2021 №4, Том 6 URL: https://kostumologiya.ru/PDF/25TLKL421.pdf
- 75. Коновалова О.Б., Костылева В.В., Макаров А.А., Юмашев Е.М. Параметрический подход как инструмент рационализации проектной деятельности в современной индустрии моды.// «Вестник технологического университета». 2020, Т.23, №4. С.71-73
- 76. Коновалова О.Б., Костылева В.В. Параметрический подход к проектной деятельности в современной индустрии моды.//Материалы XIV Всероссийской заочной научно-практической конференции «Инновационные технологии в обучении и производстве» Филиал ВГТУ, Камышинский технологический институт. 2019. Т.2. С. 98-104.
- 77. Konovalova O. B., Kostyleva V.V. Large-Scale Prototypes in the Light and Footwear Industry: Opportunities and Prospects/International Conference on Textile and Apparel Innovation (ICTAI 2021) AIP Conf. Proc. 2430, 040001-1–040001-7; https://doi.org/10.1063/5.0077682. Published by AIP Publishing. 978-0-7354-4175-0/\$30.00
- 78. Методика использования комплексов серии «Скан» при диагностике состояния стопы и назначении ортопедических стелек: метод. пособие / ФГБУ СПб НЦЭПР им. Г. А. Альбрехта Минтруда России; [Л. М. Смирнова, Е. Е.

- Аржанникова, С. В. Карапетян, О. Э. Гаевская]. СПб: ООО «ЦИАЦАН», 2015. 75 стр.
- 79. Н. Голованов, «Геометрическое моделирование», ДМК, Москва, 2020
- 80. S. Antman, Nonlinear Problems of Elasticity, vol. 107, New York: Springer, 2005.
- 81. T. J. R. Hughes, J. A. Cottrell and Y. Bazilevs, "Isogeometric analysis: CAD, finite elements, NURBS, exact geometry and mesh refinement," Comput. Methods Appl. Mech. Eng., vol. 194, no. 39-41, 2005.
- 82. Tachi, T. & Miura, K. Rigid-foldable cylinders and cells. J. Int. Assoc. Shell Spat. Struct. 53, 217–226 (2012).
- 83. Filipov, E. T., Tachi, T. & Paulino, G. H. Origami tubes assembled into stiff, yet reconfigurable structures and metamaterials. Proc. Natl Acad. Sci. USA 112, 12321–12326 (2015).
- 84. Cheung, K. C., Tachi, T., Calisch, S. & Miura, K. Origami interleaved tube cellular materials. Smart Mater. Struct. 23, 094012 (2014).
- 85. Yasuda, H. & Yang, J. Re-entrant origami-based metamaterials with negative poisson's ratio and bistability. Phys. Rev. Lett. 114, 185502 (2015).
- 86. Y. Jiang and Q. Wang, "Highly-stretchable 3D-architected Mechanical Metamaterials," Sci. Rep., vol. 6, p. 34147, 2016.
- 87. T. Chen, J. Mueller and K. Shea, "Integrated Design and Simulation of Tunable, Multi-State Structures Fabricated Monolithically with Multi-Material 3D Printing," Sci. Rep., vol. 7, p. 45671, 2017.
- 88. J. Liu, T. Gu, S. Shan, S. H. Kang, J. C. Weaver and K. Bertoldi, "Harnessing Buckling to Design Architected Materials that Exhibit Effective Negative Swelling," Adv. Mater., vol. 28, no. 31, pp. 6619-6624, 2016.
- 89. Y. Chen, F. Qian, L. Zuo, F. Scarpa and L. Wang, "Broadband and multiband vibration mitigation in lattice metamaterials with sinusoidally-shaped ligaments," Extreme Mechanics Letters, vol. 17, pp. 24-32, 2017.

- 90. Y. Chen, T. Li, J. Zian, F. Scarpa, C.-W. Yao and L. Wang, "3D printed hierarchical honeycombs with shape integrity under large compressive deformations," Materials & Design, vol. 137, pp. 226-234, 2018.
- 91. T. Tachi, Architectural Origami Architectural Form Design Systems based on Computational Origami, Graduate School of Arts and Sciences, The University of Tokyo, 2018
- 92. L. J. Gibson and M. F. Ashby, Cellular Solids Structure and Properties, Cambridge University Press, 1997.
- 93. M. Sekulovic and R. Salatic, "Nonlinear analysis of frames with flexible connections," Comput. Struct., vol. 79, pp. 1097-1107, 2001.
- 94. K. Suzuki and N. Kikuchi, "A homogenization method for shape and topology optimization," Comput. Methods Appl. Mech. Eng., vol. 93, no. 3, pp. 291-318, 1991.
- 95. A.Kurtz, Y. Tang and F. Zhao, "Intra|Lattice: Generative Lattice Design with Grasshopper," 2015.
- 96. Baumers, M., P. Dickens, C. Tuck and R. Hague. 2016. The cost of additive manufacturing: machine productivity, economies of scale and technology-push. Technological Forecasting and Social Change 102: 193-201.
- 97. Beach, R., A.P. Muhlemann, D.H.R. Price, A. Paterson and J.A. Sharp. 2000. A review of manufacturing flexibility. European Journal of Operational Research 122(1): 41-57.
- 98. Bharadwaj, S., A. Bharadwaj and E. Bendoly. 2007. The performance effects of complementarities between information systems, marketing, manufacturing, and supply chain processes. Information Systems Research 18(4): 437-453.
- 99. Chohan J.S., Singh R., Boparai K.S. Vapor smoothing process for surface finishing of FDM replicas// Mater. Today Proc. 26, 2020. P.173...129.
- 100. Hongjun L., Zitian F., Naiyu H, Xuanpu D. A note on rapid manufacturing process of metallic parts based on SLS plastic prototype // J. Mater. Process.Technol. 142, 2003. P.710...713.

- 101. Dotchev K., Soe S. Rapid manufacturing of patterns for investment casting, Improvement of quality and success rate. Rapid Prototyp. 12, 2006. P.156...164.
- 102. Gill S.S., Kaplas M. Ecacy of powder-based three-dimensional printing (3DP) technologies for rapid casting of light alloys // Int. J. Adv. Manuf. Technol. 52, 2011. P.53...64.
- 103. Bartolo P.J. Stereolithography, Materials. Processes and Applications, Springer Science & Business Media, Berlin Heidelberg. Germany. 2011, ISBN 0387929045.
- 104. Zakeri S., Vippola M, Levdnen E. A comprehensive review of the photopolymer Eat ion of ceramic resins used in stereolithography // Addit Manuf. 35, 2020.101172.
- 105. Arnold C, Monsees D., Hey J., Schweyen R. Surface quality of 3D-printed models as a function of various printing parameters. Materials 2019.
- 106. Zhang J., Xiao P. 3D printing of photopolymers// Polym. Chem. 9, 2018. P.1530...1540.
- 107. Смелов В.Г., Вдовин Р.А. Исследование точности печати на 3D-принтере. Изд-во Самарского университета, 2017
- 108. Абзалбекулы Б., Мунасипов С.Е., Джумабекова Г.Б., Анарова Г.С. Исследования структурных свойств композитных материалов для изделии легкой промышленности // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. − 2020, № 3. С. 66...68.
- 109. Минец В. В., Белицкая О.А. Применение аддитивных технологий при создании коллекций обуви и аксессуаров // Дизайн и технологии. 2018,№ 63 (105). С. 31...36.
- 110. Леденева И.Н., Белицкая О.А. Технологии 3D-печати, принципы, возможности, перспективы. М., РГУ имени А.И. Косыгина, 2019.
- 111. Коновалова О.Б., Минец В.В., Бокова Е.С., Костылева В.В., Белицкая О.А., Полимерные материалы для 3d-печати и возможность их применения в обувном производстве: группа крупнотоннажных полимеров. «Известия вузов. Технология текстильной промышленности», № 2 (398), 2022, с.304-311

- 112. Pandremenos J, Georgoulias K, Chryssolouris G, Jufer N and Bathelt J 2016 a shoe design support module towards mass customization Technology Management Conf. (Trondheim: IEEE)
- 113. Dai X 2016 the application and exploration of parametric design used in product design based on grasshopper Design 122-3
- 114. Mahmoodi-Rad A, Molla-Alizadeh-Zavardehi S, Dehghan R, Sanei M and Niroomand S 2015 Int. J. Adv. Manuf. Technol. 85 455-67
- 115. Pandremenos J, Georgoulias K, Chryssolouris G, Jufer N and Bathelt J 2016 a shoe design support module towards mass customization Technology Management Conf. (Trondheim: IEEE)
- 116. Dai X 2016 the application and exploration of parametric design used in product design based on grasshopper Des. 122-3
- 117. Sun C 2018 Research on Parametric and Rapid Manufacturing of 07B Shoe Last Model Hebei University of Science & Technology
- 118. He S and Liu B 2017 parametric design of shoe last based on feature size J. Mech. Eng. 53 118-27
- 119. Liu ZM, Li YX. (2008) Research on parametric design of lamps based on Grasshopper plug-in. Packaging engineering, 39(18):209-213.
- 120. Zhang K, Zhang H. (2016) Application of parametric design in product form design. Design, 03:24-25.
- 121. Wang N, Wang PG. (2014) Research on the application of parametric design in product modeling design. Design, 07:37-38.
- 122. Chen DH, Wen L. (2011) Preliminary study on Solidworks based product serialization design system. Science and technology vision, 04:18-19.
- 123. Zhang S, Yin PF. (2015) Research on parametric modeling of irregular curved surface structure based on Rhino+ Grasshopper. Civil and architectural engineering information technology, 7(05):102-106.
- 124. Zhang ZJ, (2009) Digital Object / Triangulation Series, http://www.zhangzhoujie.com

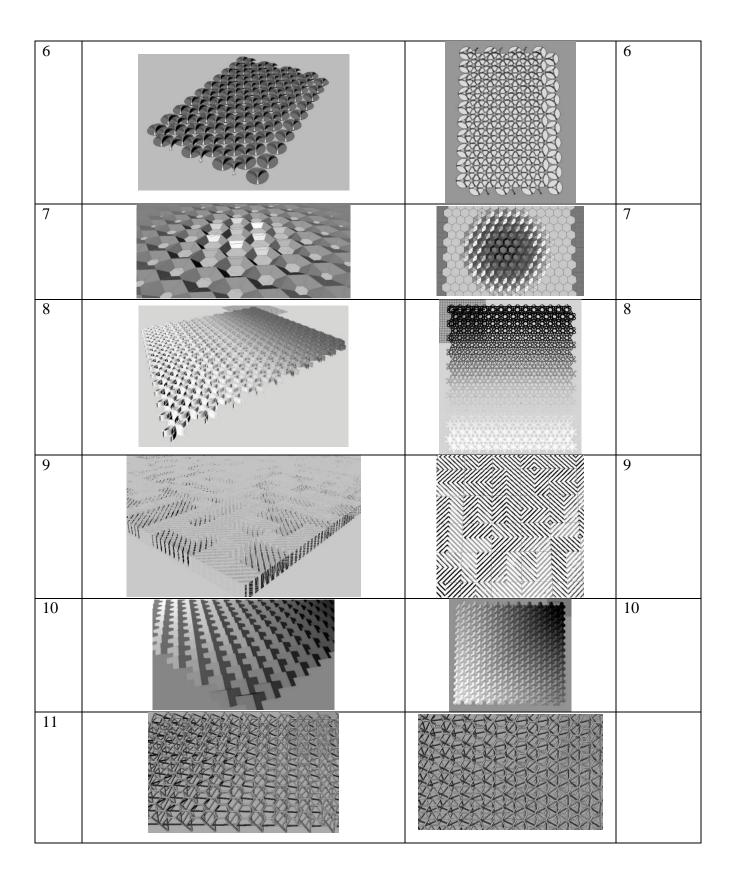
- 125. Dai XW. (2016) Application exploration of parametric design based on Grasshopper in product design. Design, 11:122-123.
- 126. Chen DH, Wen L. (2011) Preliminary exploration of Solidworks based product serialization design system. Science and technology vision, 04:18-19.
- 127. Deng QC, Liu T. Method of product serialization design based on deformation. Mechanical design and research, 03:20-22.
- 128. Zhou W. (2010) Application of UG in parametric design of serialized products. Development and innovation of mechanical and electrical products, 23(04):116-117.
- 129. Cao WY. (2018) Research and application of parametric design of products. North China university of technology.
- 130. Zhang K, Zhang H. (2016) Application of parametric design in product form design. Design, 03:24-25.
- 131. Yu SM. (2015) Significance of serialization of new product development and teaching practice of industrial design innovation. Machinery manufacturing,53(03):1-5
- 132. Коновалова О.Б., Костылева В.В. Концепция доступной 3D-печати индивидуальной обуви в формате мобильных салонов.//Сборник стендовых докладов молодых ученых и студентов «Международный Косыгинский форум 2019. Современные задачи инженерных наук». 2019. С. 82-84.
- 133. Konovalova O.B., Kostyleva V.V., «Concept of parametric design and fast 3D printing of individual shoes», V INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE HIGH TECHNOLOGIES. BUSINESS.SOCIETY 2020 09-12.03.2020, BOROVETS, BULGARIA http://hightechsociety.eu/pics.rar.
- 134. Костылева В.В., Макаров А.А., Юмашев Е.М., Коновалова О.Б., Разработка контроллера, реализующего концепцию интернета вещей в производстве обуви», Сборник трудов Всероссийской научной конференции молодых исследователей с международным участием «Инновационное развитие техники и технологий в промышленности (ИНТЕКС-2020)», посвященная Юбилейному году в РГУ им.
- A.H. Косыгина, https://kosygin-rgu.ru/naukan/rabota_stud/konf-konf_mgudt-vserossiiskie.aspx.

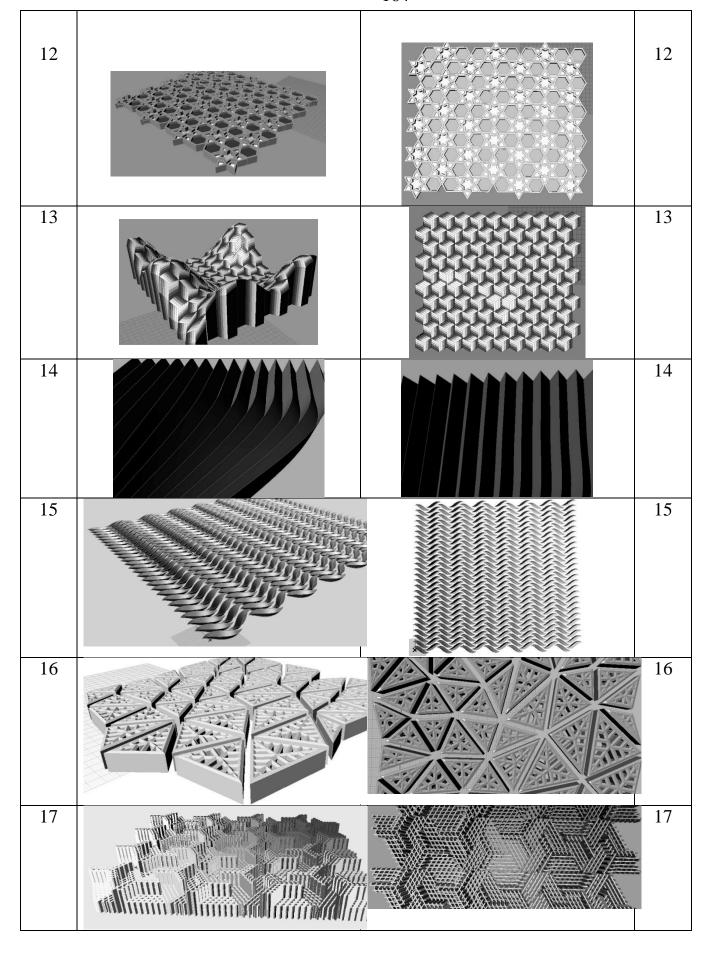
- 135. Макаров А.А., Костылева В.В., Юмашев Е.М., Коновалова О.Б. К вопросу об аппаратно-программном комплексе параметрического проектирования в рамках концепции «Интернет вещей», Сборник Международной научно-практической им. А.Н. Косыгина, заочной конференции ΡГУ посвященной юбилею университета, 120-летию со дня рождения Юрия Петровича Зыбина – основателя науки о производстве обуви, 85-летию со дня рождения Виталия Александровича Фукина – ученика Юрия Петровича Зыбина, значительно развивший основные 90-летию технологической науки, кафедры «Художественное моделирование, конструирование и технологии изделий из кожи», М., 2020.
- 136. Коновалова О.Б., Костылева В.В., «Интернет вещей в обувной промышленности. The Internet of Things in the Shoe Industry». VI Международная научно-техническая конференция «Дизайн, технологии и инновации в текстильной и легкой промышленности» (ИННОВАЦИИ-2020)

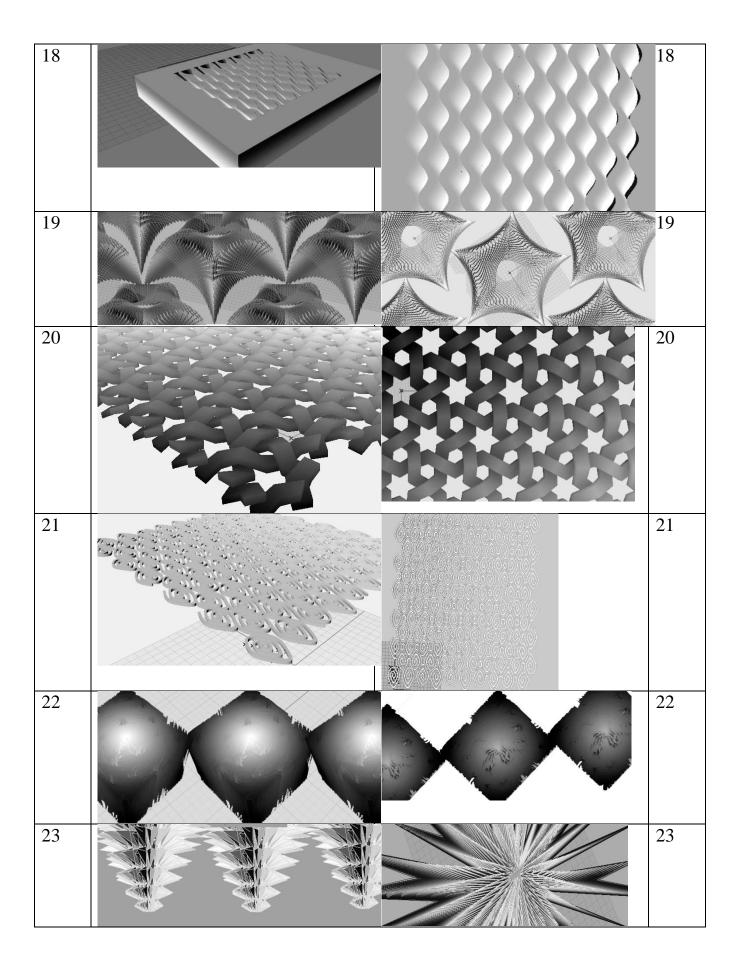
приложения

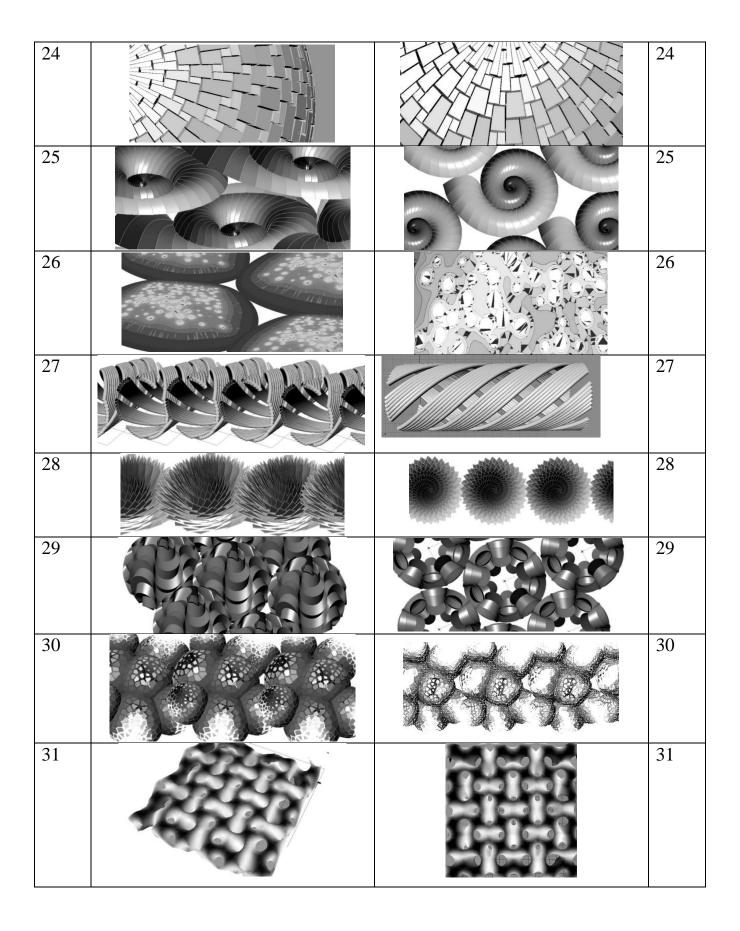
ПРИЛОЖЕНИЕ А Модели экспериментальных поверхностей и алгоритмы их реализации

№ п/п	Перспектива	План/вид сверху	Алгоритм №
1			1
2			2
3			3
4			4
5			5



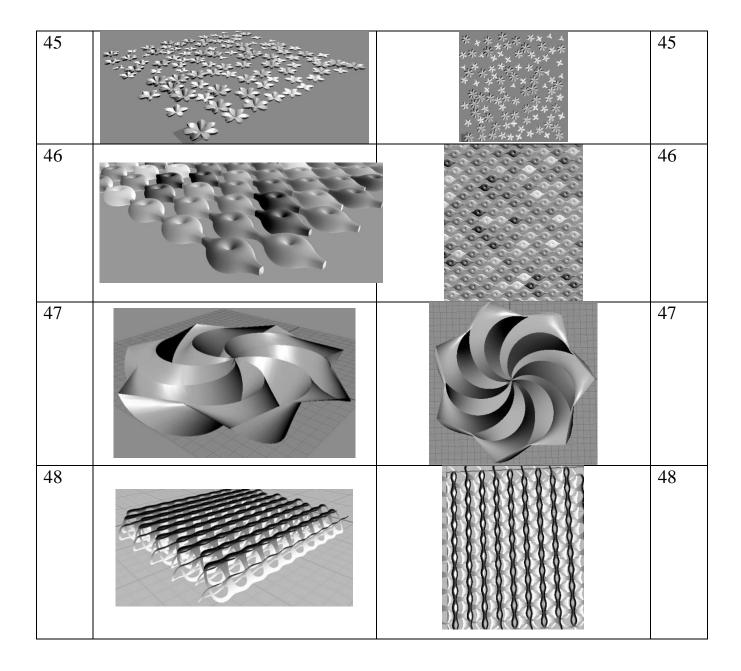






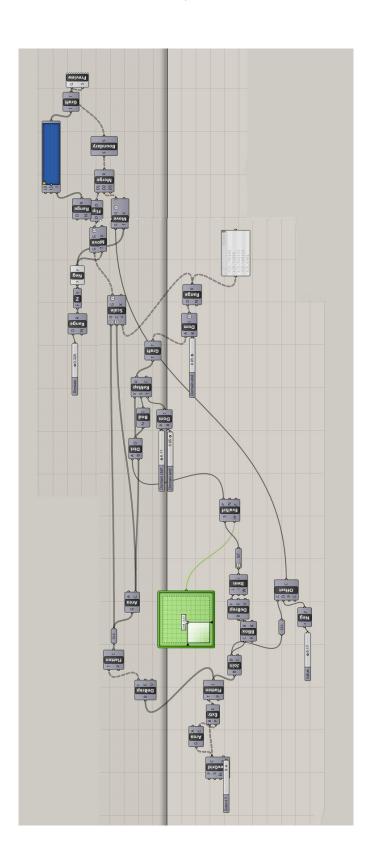
32		32
33		33
34		34
35		35
36		36
37		37
38		38

39		**************************************	39
40	x x		40
41			41
42			42
43			43
44			44

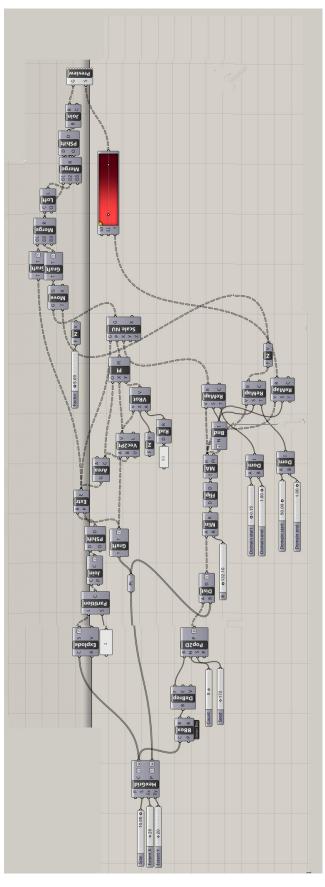


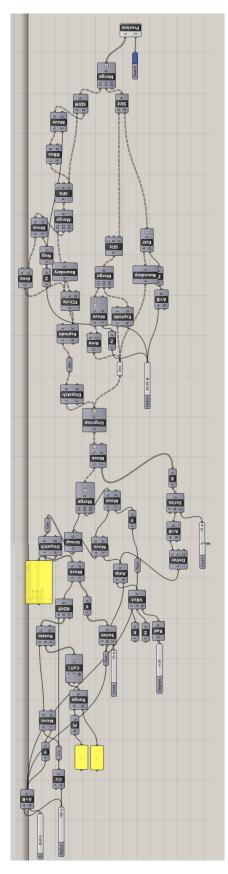


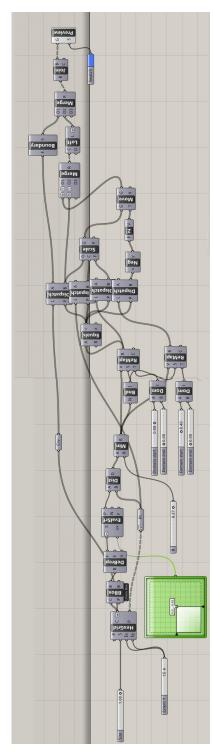


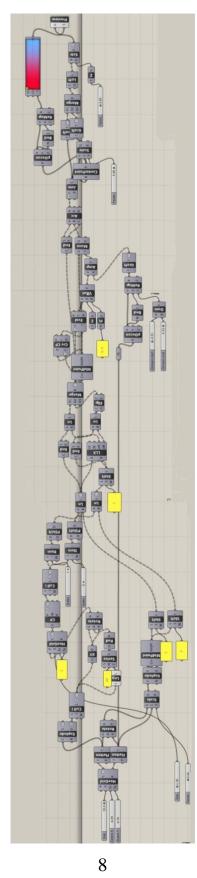


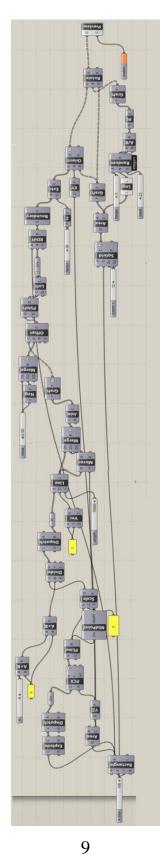


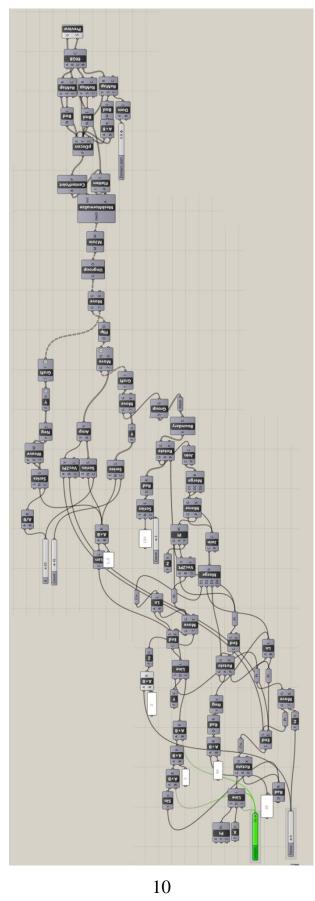


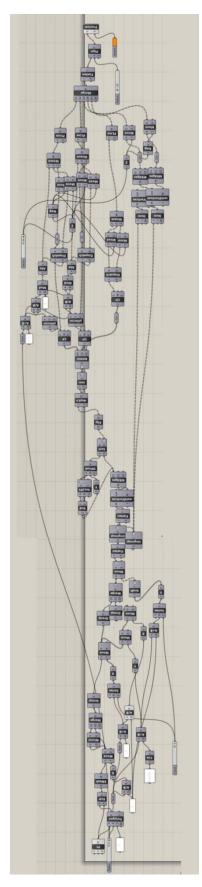


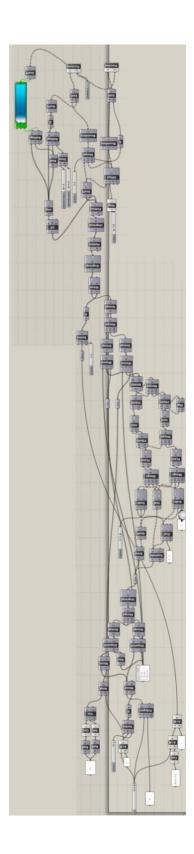


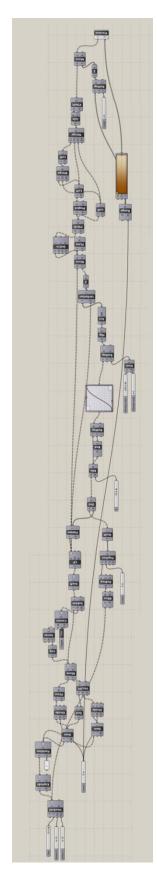


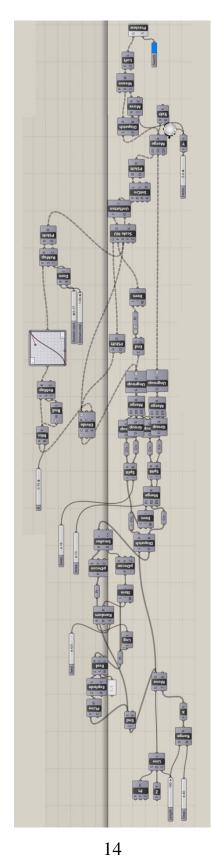


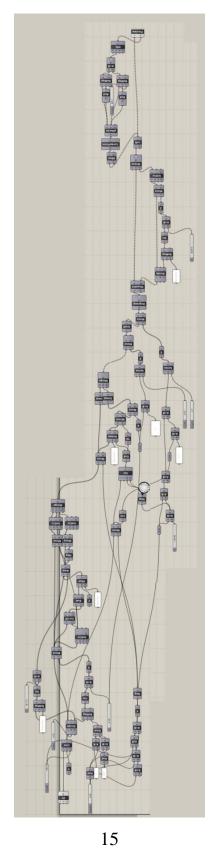


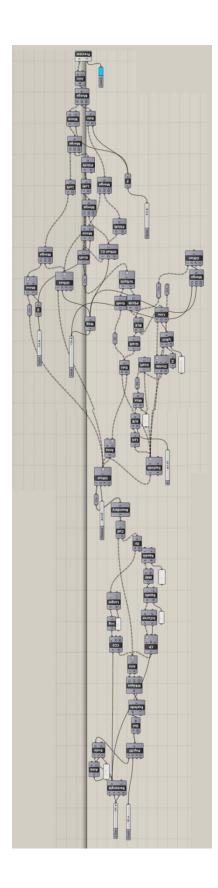


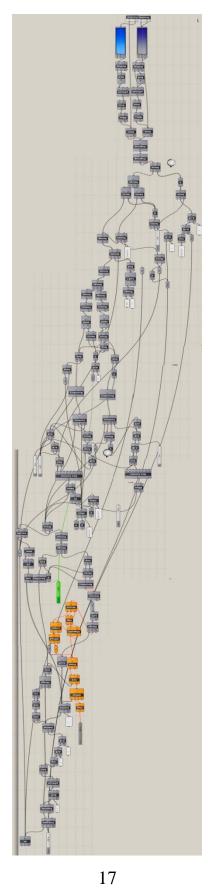


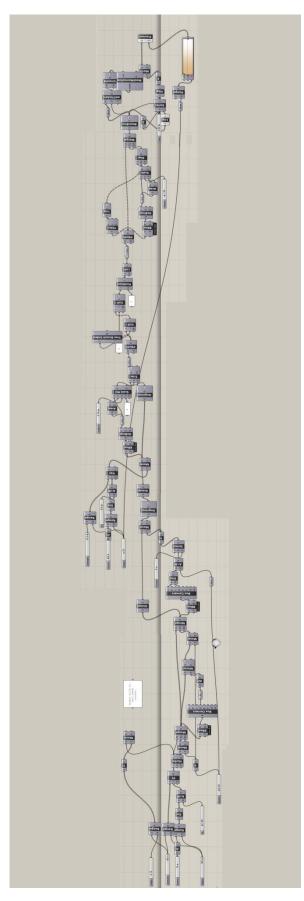


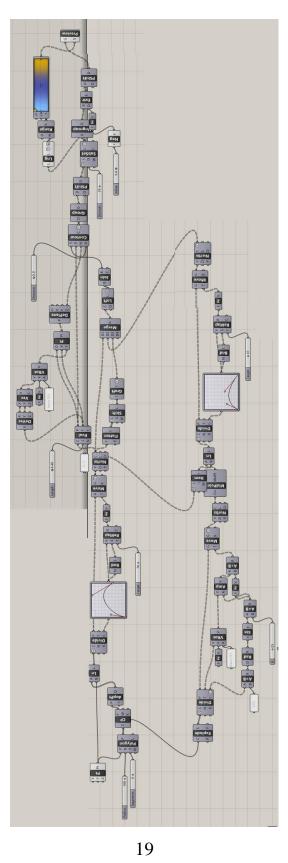


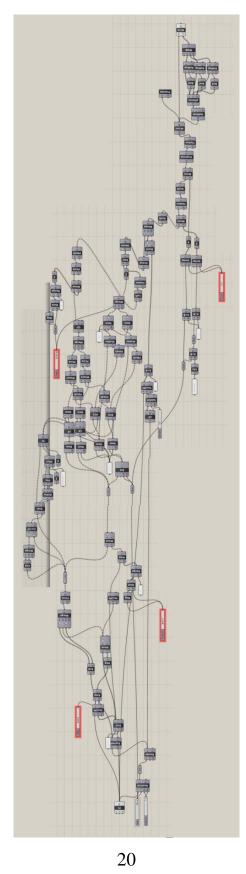


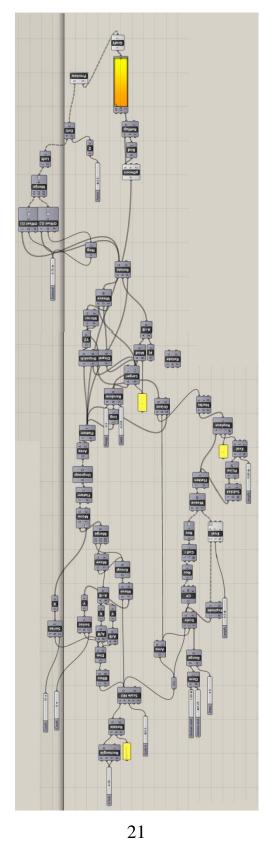


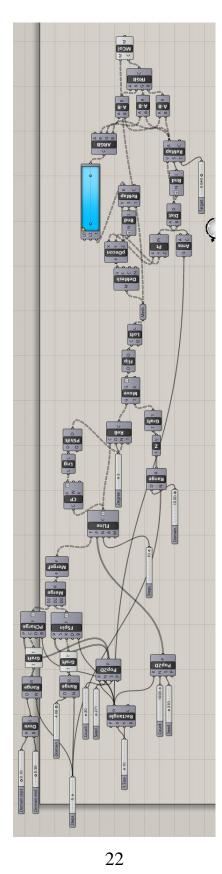


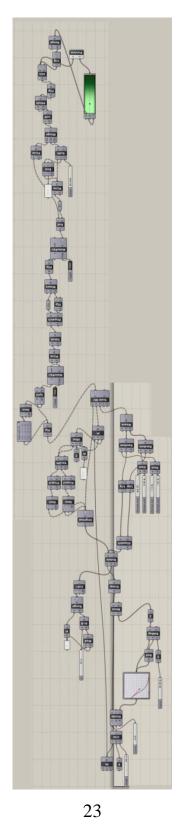


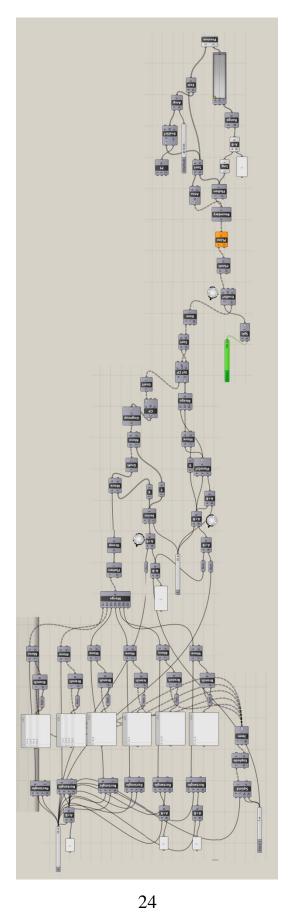


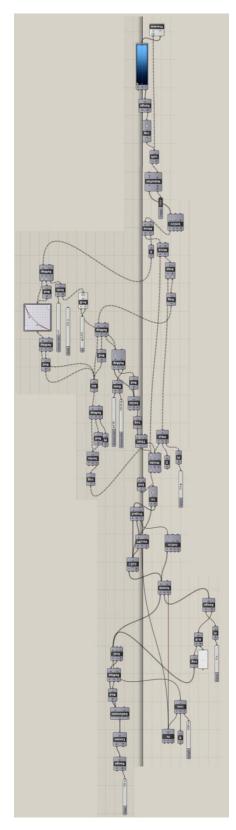


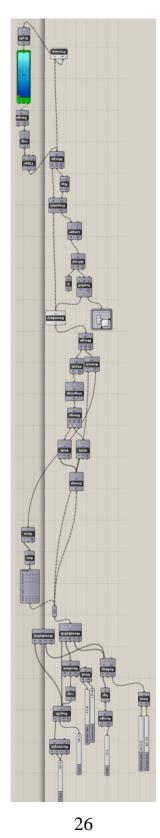


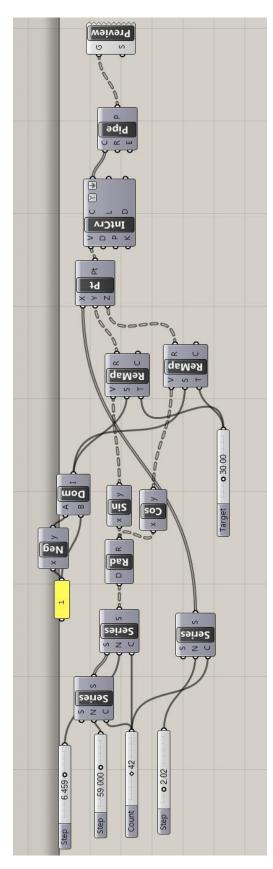


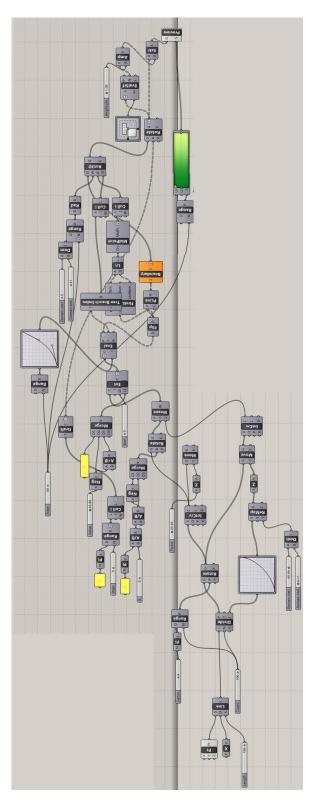


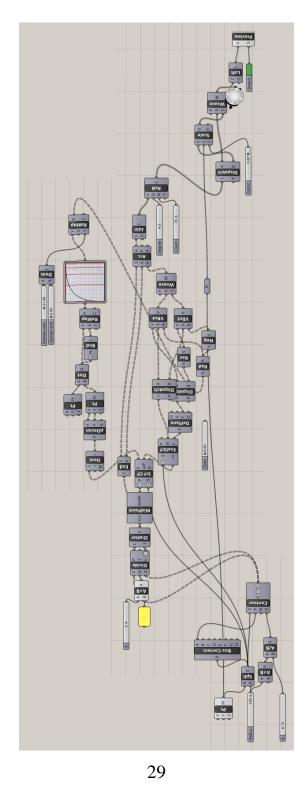


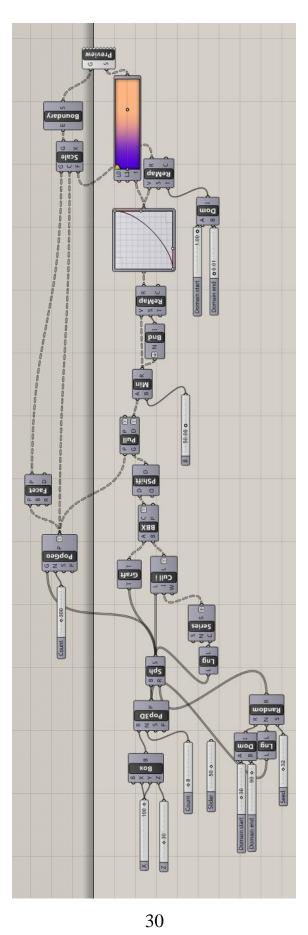


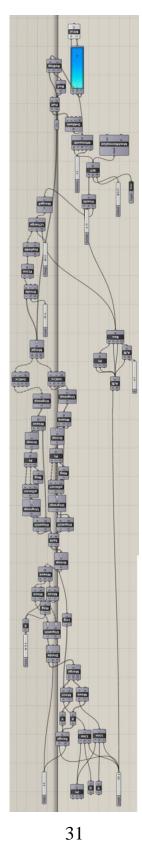


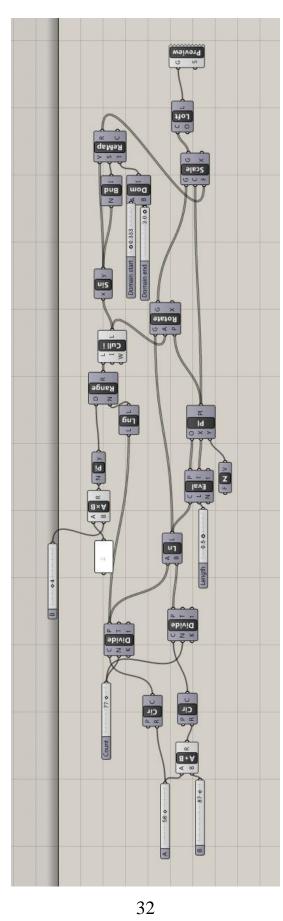


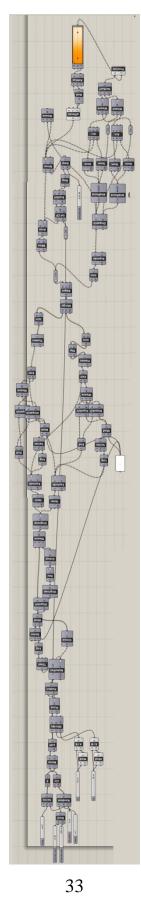


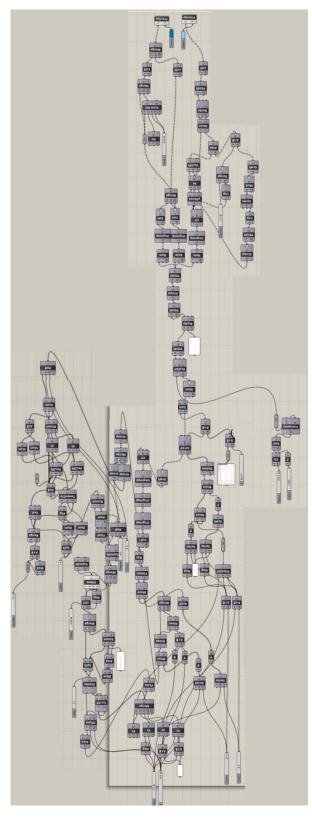


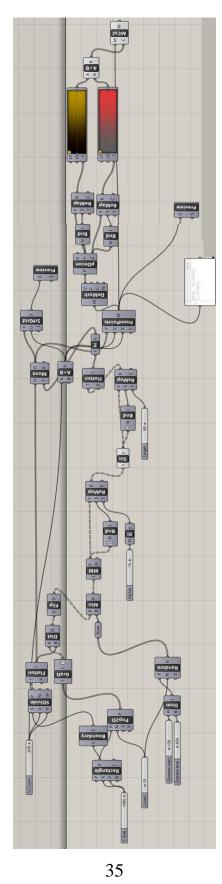




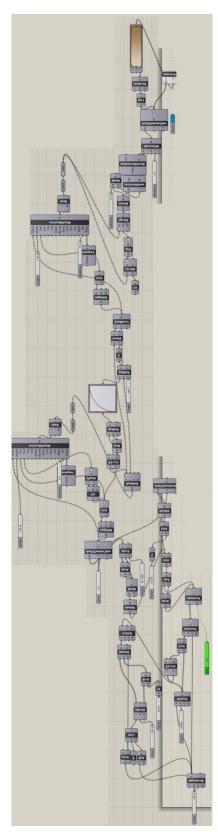


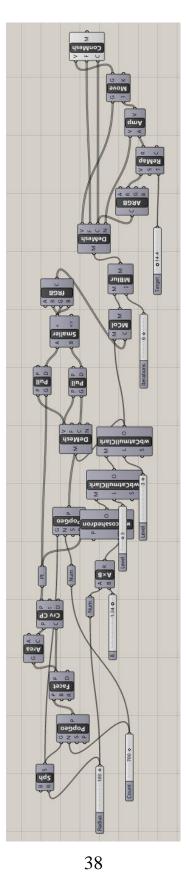


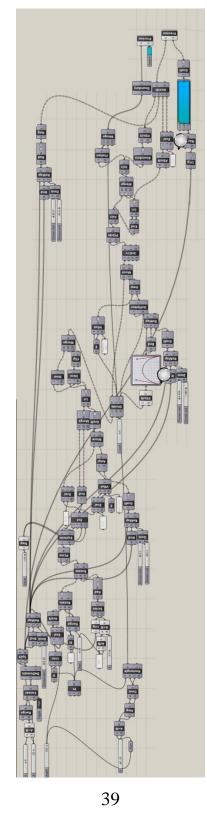


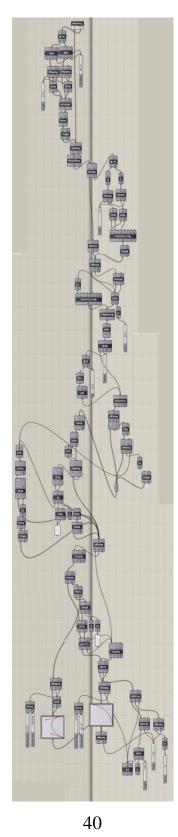


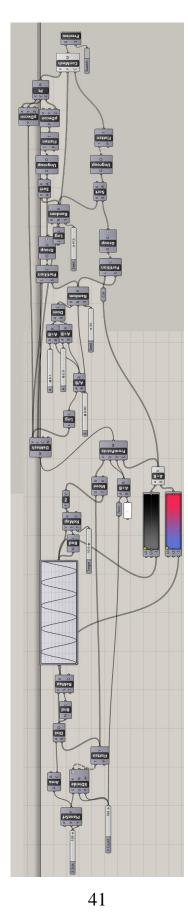


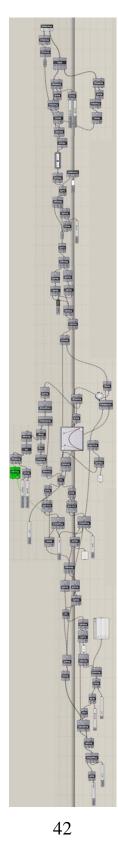


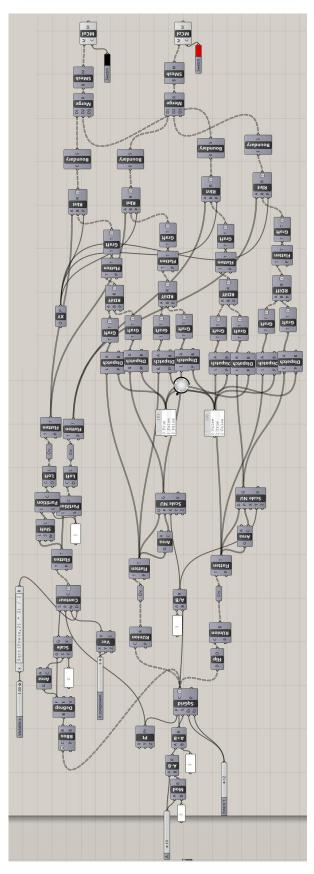


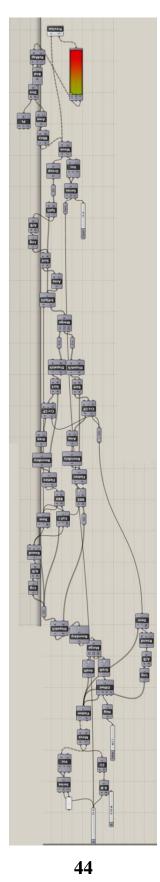


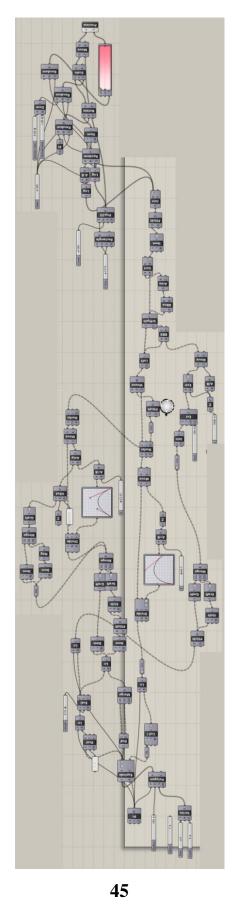


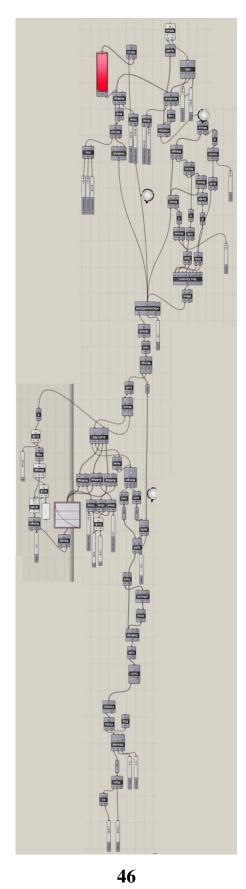


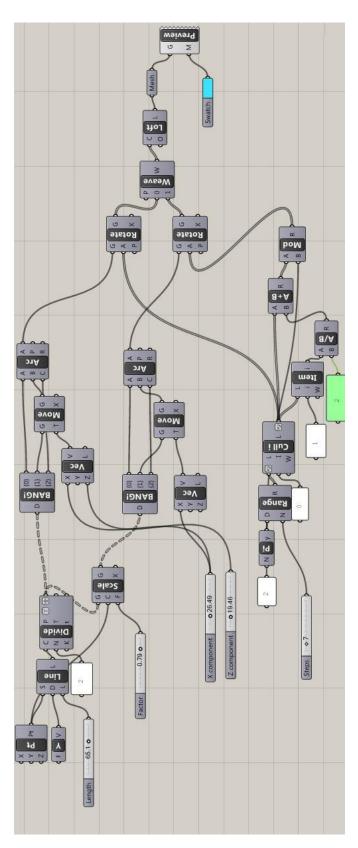


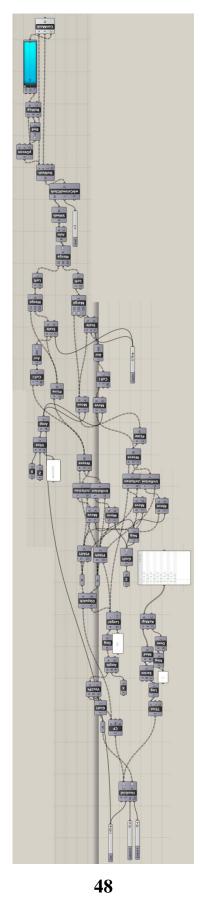












приложение Б

ТАБЛИЦА Б1 Результаты лабораторных испытаний

№ Эксперимента	№ Лабораторного образца	Материал	Размер ячейки, мм	Заполнение,	Прочность при растяжении Мпа	Удлинение при разрыве, ε, %	Плотность, г/см ³	Твердость по Шору, А		
ОБРАЗЕЦ 1 (ПОВЕРХНОСТЬ 1)										
1	2/1/1				16.034	19,37	2,286	84		
2	2/1/2				16.065	19,78	2,289	83		
3	2/1/3				15.098	19,90	2,291	84		
4	2/1/4				16.014	19,58	2,275	79		
5	2/1/5	Фото-	2,5-	100	15.054	20,01	2,256	77		
6	2/1/6		3,5		16.055	19,43	2,286	82		
7	2/1/7	полимер			15.679	19,71	2,288	83		
8	2/1/8				15.875	19,44	2,278	79		
9	2/1/9				16.043	19,64	2,286	83		
10	2/1/10				16.011	19,36	2,291	85		
ОБРАЗ	ВЕЦ 1 (ПС	DBEPXHOC	ТЬ 1)	<u> </u>	I.		<u> </u>	l		
1	2/1/4/1				13.09	28,74	1,231	63		
2	2/1/4/2				13.28	28,79	1,133	60		
3	2/1/4/3				12.95	27,89	1,195	65		
4	2/1/4/4				13.30	28,56	1,243	61		
5	2/1/4/5	Фотополи	2,5-	50	13.22	27,78	1,186	60		
6	2/1/4/6	мер	3,5	50	13.10	28,75	1,313	59		
7	2/1/4/7				12.89	28,49	1,272	64		
8	2/1/4/8				13.20	28,52	1,226	63		
9	2/1/4/9				13.07	28,76	1,248	57		
10	2/1/4/10				13.11	28,55	1,112	79		
ОБРАЗЕЦ 1 (ПОВЕРХНОСТЬ 1)										
1	3/1/1	Фото-	2,5-	20	5.002	7.98	1,013	53		
2	3/1/2	полимер	3,5	20	4.901	8,23	1,010	49		

South Composition South South	3	3/1/3				5.010	8,12	1,017	48
4.941 8.12 1,004 55 4.977 8.12 1,011 50 5.009 7.99 1,013 48 5.003 8.22 1,014 53 5.005 8,11 1,012 54	4	3/1/4				5.008		1,019	52
To 3/1/7 8 3/1/8 9 3/1/9 10 3/1/10 5.009 7,99 1,013 48 5.003 8,22 1,014 53 5.005 8,11 1,012 54	5	3/1/5				5.005		1,009	51
8 3/1/8 9 3/1/9 1,013 48 5.009 7,99 1,013 48 5.003 8,22 1,014 53 5.005 8,11 1,012 54	6	3/1/6				4.941	8,12	1,004	55
Solid Soli	7	3/1/7				4.977	8,12	1,011	50
10 3/1/10 5.005 8,11 1,012 54	8	3/1/8				5.009	7,99	1,013	48
OBPA3EIL I (HOBEPXHOCTЬ I) 1 1/1 2 1/2 3 1/3 4 1/4 5 1/5 6 1/6 7 1/7 8 1/8 9 1/9 10 1/10 1 1/1/2/1 2 1/2/2/2 3 1/3 4 1/4 9 1/9 10 1/10 1 1/1/2/1 2 1/2/2/2 3 1/3/2/3 4 1/4/2/4 5 1/5/2/5 6 1/6/2/6 7 1/7/2/7 8 1/8/2/8 9 1/9/2/9 3 1/3/2/3 4 1/4/2/4 5 1/5/2/5 6 1/6/2/6 7 1/7/2/7 8 1/8/2/8 9 1/9/2/9 <	9	3/1/9				5.003	8,22	1,014	53
1	10	3/1/10				5.005	8,11	1,012	54
1/2	ОБРАЗ	ВЕЦ 1 (ПС) DBEPXHOC	ТЬ 1)				1	1
3	1	1/1				14.479	13,35	3,657	93
14	2	1/2				13.679	13,01	3,431	87
Tity	3	1/3				14.098	12,96	3,121	90
TIIY 3,5 100 14.567 13,22 3,122 97	4	1/4				14.199	12,99	2,978	89
14.567 13,22 3,122 97 14.498 13,37 3,564 93 14.498 13,37 3,564 93 14.498 13,37 3,564 93 14.442 12,33 3,611 90 10	5	1/5	тпу	2,5-	100	13.954	13,17	3,079	95
8	6	1/6	1113	3,5	100	14.567	13,22	3,122	97
9 1/9 10 1/10 14.442 12,33 3,611 90 10 1/10 11 1/1/2/1 2 1/2/2/2 3 1/3/2/3 4 1/4/2/4 5 1/5/2/5 6 1/6/2/6 7 1/7/2/7 8 1/8/2/8 9 1/9/2/9 10 1/10/2/1 14.442 12,33 3,611 90 14.154 13,27 3,711 89 9.254 17,66 2,654 74 9.187 16,75 2,629 79 9.221 18,13 2,618 70 9.227 17,95 2,664 71 9.264 17,49 2,599 72 9.247 17,32 2,637 72 9.196 17,77 2,649 76 9.189 18,14 2,653 73 10 1/10/2/1 17,84 2,658 72	7	1/7				14.498 13,37 3,564	93		
10	8	1/8					12,38	3,498	95
OBPA3EII 1 (HOBEPXHOCTЬ 1) 1 1/1/2/1 2 1/2/2/2 3 1/3/2/3 4 1/4/2/4 5 1/5/2/5 6 1/6/2/6 7 1/7/2/7 8 1/8/2/8 9 1/9/2/9 10 1/10/2/1 9.254 17,66 2,654 74 9.187 16,75 2,629 79 9.221 18,13 2,618 70 9.227 17,95 2,664 71 9.264 17,49 2,599 72 9.247 17,32 2,637 72 9.196 17,77 2,649 76 9.189 18,14 2,653 73 9.201 17,84 2,658 72	9	1/9				14.442	12,33	3,611	90
1 1/1/2/1 2 1/2/2/2 3 1/3/2/3 4 1/4/2/4 5 1/5/2/5 6 1/6/2/6 7 1/7/2/7 8 1/8/2/8 9 1/9/2/9 10 1/10/2/1 9.254 17,66 2,654 74 9.187 16,75 2,629 79 9.221 18,13 2,618 70 9.227 17,95 2,664 71 9.264 17,49 2,599 72 9.251 16,89 2,622 73 9.247 17,32 2,637 72 9.189 18,14 2,653 73 9.201 17,84 2,658 72	10	1/10				14.154	13,27	3,711	89
2 1/2/2/2 3 1/3/2/3 4 1/4/2/4 5 1/5/2/5 6 1/6/2/6 7 1/7/2/7 8 1/8/2/8 9 1/9/2/9 10 1/10/2/1 9.187 16,75 2,629 79 9.221 18,13 2,618 70 9.227 17,95 2,664 71 9.264 17,49 2,599 72 9.251 16,89 2,622 73 9.196 17,77 2,649 76 9.189 18,14 2,653 73 9.201 17,84 2,658 72	ОБРАЗ	ВЕЦ 1 (ПС	DBEPXHOC	ТЬ 1)					•
3 1/3/2/3 4 1/4/2/4 5 1/5/2/5 6 1/6/2/6 7 1/7/2/7 8 1/8/2/8 9 1/9/2/9 10 1/10/2/1 9.221 18,13 2,618 70 9.227 17,95 2,664 71 9.264 17,49 2,599 72 9.251 16,89 2,622 73 9.196 17,77 2,649 76 9.189 18,14 2,653 73 9.201 17,84 2,658 72	1	1/1/2/1				9.254	17,66	2,654	74
4 1/4/2/4 5 1/5/2/5 6 1/6/2/6 7 1/7/2/7 8 1/8/2/8 9 1/9/2/9 10 1/10/2/1 9.227 17,95 2,664 71 9.264 17,49 2,599 72 9.251 16,89 2,622 73 9.196 17,77 2,649 76 9.189 18,14 2,653 73 9.201 17,84 2,658 72	2	1/2/2/2				9.187	16,75	2,629	79
5 1/5/2/5 6 1/6/2/6 7 1/7/2/7 8 1/8/2/8 9 1/9/2/9 10 1/10/2/1 2,5-3,5 50 9.264 17,49 2,599 9.251 16,89 2,622 73 9.247 17,32 2,637 72 9.196 17,77 2,649 76 9.189 18,14 2,653 73 9.201 17,84 2,658 72	3	1/3/2/3				9.221	18,13	2,618	70
TIIY 3,5 7 1/7/2/7 8 1/8/2/8 9 1/9/2/9 10 1/10/2/1 50 9.251 16,89 2,622 73 9.247 17,32 2,637 72 9.196 17,77 2,649 76 9.189 18,14 2,653 73 9.201 17,84 2,658 72	4	1/4/2/4				9.227	17,95	2,664	71
6 1/6/2/6 7 1/7/2/7 8 1/8/2/8 9 1/9/2/9 10 1/10/2/1 3,5 9.251 9.247 17,32 9,2637 72 9,196 17,77 2,649 9,189 18,14 2,653 73 9,201 17,84 2,658 72	5	1/5/2/5	ТПУ		50	9.264	17,49	2,599	72
8 1/8/2/8 9 1/9/2/9 10 1/10/2/1 9.196 17,77 9.189 18,14 2,653 73 9.201 17,84 2,658 72	6	1/6/2/6	1117	3,5		9.251	16,89	2,622	73
9 1/9/2/9 10 1/10/2/1 9.189 18,14 9.201 17,84 2,658 72	7	1/7/2/7				9.247	17,32	2,637	72
10 1/10/2/1 9.201 17,84 2,658 72	8	1/8/2/8				9.196	17,77	2,649	76
	9	1/9/2/9				9.189	ŕ	2,653	73
ОБРАЗЕЦ 1 (ПОВЕРХНОСТЬ 1)						9.201	17,84	2,658	72
1 1/1/3/1 TITY 2,5- 20 4.873 10,35 1,824 43	1	1/1/3/1	ТПУ	2,5-	20	4.873	10,35	1,824	43
2 1/2/3/2 3,5 20 4.812 10,01 1,803 45	2	1/2/3/2		3,5		4.812	10,01	1,803	45

							_	
3	1/3/3/3				4.797	9,96	1,831	41
4	1/4/3/4				4.779	9,99	1,838	42
5	1/5/3/5				4.827	10,17	1,826	43
6	1/6/3/6				4.871	10,22	1,829	47
7	1/7/3/7				4.852	10,37	1,830	48
8	1/8/3/8				4.892	10,38	1,824	45
9	1/9/3/9				4.881	10,33	1,822	45
10	1/10/3/1				4.799	10,27	1,829	44
ОБРАЗ	ВЕЦ 2 (ПО	BEPXHOC	ТЬ 5)					
1	2/.1/2/1				16,034	20,43	2,286	71
2	2/.1/2/2				15,913	19,37	2,077	66
3	2/.1/2/3				15,754	20,78	1,907	68
4	2/.1/2/4				15,899	19,90	1,916	72
5	2/.1/2/5	Фото-	2,5-	100	16,113	19,58	2,005	74
6	2/.1/2/6	полимер	3,5	100	16,074	19,43	2,187	69
7	2/.1/2/7				16,121	20,71	2,225	66
8	2/.1/2/8				15,791	19,44	2,264	70
9	2/.1/2/9				16,009	20,64	2,299	73
10	2/.1/2/10				16,063	19,58	2,288	72
ОБРАЗ	ВЕЦ 2 (ПО	BEPXHOC	ТЬ 5)					
1	2/.1/2/11				11.023	38,74	1,709	60
2	2/.1/2/21				11.011	38,32	1,654	54
3	2/.1/2/31				10.989	38,70	1,629	55
4	2/.1/2/41				11.021	38,42	1,718	50
5	2/.1/2/51	Фото-	2,5-	50	11.024	37,76	1,664	55
6	2/.1/2/61	полимер	3,5		11.019	37,86	1,699	57
7	2/.1/2/71				10.997	38,24	1,622	52
8	2/.1/2/81				11.017	38,89	1,737	53
9	2/.1/2/91				11.024	38,66	1,649	56
10	2/.1/2/13				11.025	38,88	1,653	56
ОБРАЗ	ВЕЦ 2 (ПО	BEPXHOC	ТЬ <u>5)</u>					
1	2/.1/2/13	Фото-	2,5-	20	5.783	10,22	0,852	43
2	2/.1/2/23	полимер	3,5	20	5.741	10,35	0,831	45
	1	1		1	1	1	1	1

1									
3	2/.1/2/33				5.724	10,01	0,838	51	
4	2/.1/2/43				5.797	9,96	0,856	52	
5	2/.1/2/53				5.773	9,99	0,829	53	
6	2/.1/2/63				5.771	10,17	0,830	47	
7	2/.1/2/73				5.749	10,35	0,864	48	
8	2/.1/2/83				5.772	10,37	0,862	45	
9	2/.1/2/93				5.798	10,38	0,829	45	
10	2/.1/2/13				5.788	10,33	0,844	44	
ОБРАЗ	ВЕЦ 2 (ПО	BEPXHOC	ТЬ 5)	1	1	1	•	•	
1	1/1/1				18.621	11,25	3,108	64	
2	1/1/2				18.772	11,37	3,121	69	
3	1/1/3				19.011	11,38	2,941	66	
4	1/1/4				18.844	11,33	2,908	58	
5	1/1/5	ТПУ	2,5-	100	18.692	11,35	3,088	64	
6	1/1/6	1113	3,5	100	18.579	3,111	67		
7	1/1/7				18.604	3,076	62		
8	1/1/8				18.634	11,38	3,110	70	
9	1/1/9				18.587	11,33	3,077	63	
10	1/1/10				18.632	11,35	2,992	64	
ОБРАЗ	ВЕЦ 2 (ПО	BEPXHOC	ТЬ 5)						
1	1/1/12				11.310	19,06	2,554	53	
2	1/1/22				11.289	20,08	2,629	60	
3	1/1/32				11.343	19,23	2,618	55	
4	1/1/42				11.299	19,88	2,564	61	
5	1/1/52	ТПУ	2,5-	50	11.286	19,87	2,599	60	
6	1/1/62	1117	3,5		11.338	20,13	2,622	59	
7	1/1/72				11.333	20,15	2,637	64	
8	1/1/82				11.280	19,79	2,549	53	
9	1/1/92				11.331	19,91	2,553	57	
10	1/1/12				11.322	20,04	2,619	59	
ОБРАЗЕЦ 2 (ПОВЕРХНОСТЬ 5)									
1	1/1/13	ТПУ	2,5-	20	6.522	9,25	1,724	43	
2	1/1/23	1113	3,5	20	6.487	9,37	1,703	45	
			1	1	1	1		1	

2	1/1/22	1	<u> </u>		6 400	0.29	1 721	41		
3	1/1/33				6.498	9,38	1,731	41		
4	1/1/43				6.501	9,33	1,738	42		
5	1/1/53				6.552	9,35	1,727	43		
6	1/1/63				6.542	9,35	1,749	37		
7	1/1/73				6.440	9,37	1,730	38		
8	1/1/83				6.511	9,38	1,724	35		
9	1/1/93				6.432	9,33	1,722	45		
10	1/1/13	-			6.264	9,35	1,724	44		
ОБРАЗЕЦ З (ПОВЕРХНОСТЬ 7)										
1	3/1				12.948	17,97	2,098	85		
2	3/2	-			12.833	16,75	2,101	93		
3	3/3	-			13.099	18,13	1,908	87		
4	3/4	-			13.125	17,95	2,088	90		
5	3/5	Фото-	2,5-	100	12.879	17,49	2,111	89		
6	3/6	полимер	3,5	100	12.933	16,89	2,076	95		
7	3/7	-			12.881	17,32	1,908	97		
8	3/8	-			13.110	17,77	2,005	93		
9	3/9	-			12.882	18,14	2,187	95		
10	3/10	-			12.902	17,84	2,225	90		
ОБРАЗ	ВЕЦ 3 (ПО	DBEPXHOC	СТЬ 7)				L			
1	3/12				7.074	31,56	1,195	77		
2	3/22	-			7.056	31,44	1,243	76		
3	3/32	-			7.088	32,01	1,186	83		
4	3/42	-			7.083	32,15	1,313	82		
5	3/52	Фото-	2,5-	50	7.073	31,71	1,272	78		
6	3/62	полимер	3,5	50	7.069	31,99	1,226	79		
7	3/72	1			7.066	31,72	1,248	80		
8	3/82	1			7.071	31,55	1,112	81		
9	3/92	1			7.081	31,49	1,231	81		
10	3/12	1			7.077	31,59	1,133	83		
ОБРАЗЕЦ З (ПОВЕРХНОСТЬ 7)										
1	3/13	Фото-	2,5-	2.5	3.578	8.87	0,752	52		
2	3/23	полимер	3,5	20	3.456	8,73	0,831	51		
		[1				1			

3	3/33				3.782	8,93	0,838	45	
4	3/43				3.767	8,83	0,776	50	
5	3/53				3.562	8,42	0,829	48	
6	3/63				3.597	8,53	0,830	53	
7	3/73				3.876	8,53	0,764	53	
8	3/83				3.457	9,12	0,762	50	
9	3/93				3.967	9,12	0,829	45	
10	3/13				3.744	9,13	0,844	41	
ОБРАЗ	ВЕЦ 3 (ПО	DBEPXHOO	СТЬ 7)	•	1	1	<u> </u>	1	
1	1/2./1				13.547	12,77	3,567	89	
2	1/2./2				13.679	13,75	3,431	93	
3	1/2./3				14.098	11,23	3,121	87	
4	1/2./4				14.199	13,95	2,978	90	
5	1/2./5	ТПУ	2,5-	100	13.954	13,49	3,079	89	
6	1/2./6	11113	3,5	100	13.954 13,49 3,079 14.567 12,69 3,122			90	
7	1/2./7				14.498	97			
8	1/2./8				14.512	13,75	3,498	93	
9	1/2./9				13.679	13,14	3,611	95	
10	1/2./10				14.098	12,82	3,711	90	
ОБРАЗ	ВЕЦ 3 (ПО	DBEPXHOC	СТЬ 7)			•			
1	1/2./12				8.432	16,87	2,243	78	
2	1/2./22				8.142	16,75	2,186	69	
3	1/2./32				8.562	18,13	2,313	70	
4	1/2./42				8.865	17,95	2,272	71	
5	1/2./52	ТПУ	2,5-	50	8.653	17,49	2,226	71	
6	1/2./62	1117	3,5		8.524	16,89	2,248	73	
7	1/2./72				8.852	17,32	2,112	67	
8	1/2./82				8.653	17,77	2,231	66	
9	1/2./92				8.547	18,14	2,133	73	
10	1/2./12				8.763	17,84	2,195	72	
ОБРАЗЕЦ З (ПОВЕРХНОСТЬ 7)									
1	1/2./13	ТПУ	2,5-	20	4.222	9.64	1,856	52	
2	1/2./23	1117	3,5	20	4.245	10,17	1,829	51	
L	1	1	1		1	_1			

3	1/2./33				4.673	10,22	1,830	55
							,	
4	1/2./43				4.564	10,37	1,864	50
5	1/2./53				4.346	10,38	1,862	58
6	1/2./63				4.424	10,33	1,829	53
7	1/2./73				4.435	10,27	1,844	53
8	1/2./83				4.328	9,96	1,852	60
9	1/2./93				4.319	9,99	1,831	55
10	1/2./13				4.543	10,01	1,838	61
ОБРА	ЗЕЦ 4 (ПО	DBEPXHOO	ТЬ 10)		1	· ·	1	1
1	2/1/3/1				16.025	18.67	2,286	60
2	2/1/3/2				15.913	19,13	2,077	59
3	2/1/3/3				15.754	17,95	1,907	64
4	2/1/3/4				15.899	17,49	1,916	69
5	2/1/3/5	Фото-	2,5-	100	16.113	17,32	2,005	68
6	2/1/3/6	полимер	3,5	100	16.074	17,77	2,187	64
7	2/1/3/7				16.121	18,14	2,225	67
8	2/1/3/8				15.791	17,84	2,264	62
9	2/1/3/9				16.009	19,75	2,299	71
10	2/1/3/10				16.063	19,54	2,288	63
ОБРА	ЗЕЦ 4 (ПО) DBEPXHOC	ТЬ 10)					
1	2/1/3/12				9.004	38,32	1,017	53
2	2/1/3/22				8.986	38,32	1,019	50
3	2/1/3/32				8.876	38,70	1,009	55
4	2/1/3/42				8.960	38,42	1,004	61
5	2/1/3/52	Фото-	2,5-		9.123	37,76	1,011	60
6	2/1/3/62	полимер	3,5	50	9.253	37,86	1,013	59
7	2/1/3/72				9.876	38,24	1,014	64
8	2/1/3/82				9.563	38,89	1,012	63
9	2/1/3/92				9.362	38,66	1,013	57
10	2/1/3/12				9.132	38,88	1,010	59
ОБРА	⊥ ЗЕЦ 4 (ПС	 DBEPXHOC	<u> </u> СТЬ 10)					
1	2/1/3/13	Фото-	2,5-		4.568	8.86	0,838	43
2	2/1/3/23	полимер	3,5	20	4.678	9,13	0,776	45
_	1 = 1 = 1	Т-Г	7-			- ,	- ,	_

	T		1	1		•	_	1	
3	2/1/3/33				4.457	9,12	0,829	41	
4	2/1/3/43				4.874	9,22	0,830	42	
5	2/1/3/53				4.985	9,53	0,764	43	
6	2/1/3/63				4.346	9,32	0,762	47	
7	2/1/3/73				4.124	8,72	0,829	48	
8	2/1/3/83				4.967	8,93	0,844	45	
9	2/1/3/93				4.754	8,62	0,752	45	
10	2/1/3/13				4.268	8,82	0,831	44	
ОБРАЗ	ВЕЦ 4 (ПС	DBEPXHOC	ТЬ 10)	1	1	1	•	1	
1	1/2/1				14.675	13,43	3,657	63	
2	1/2/2				12.833	14,71	3,431	58	
3	1/2/3				13.099	14,15	3,121	64	
4	1/2/4				13.125	13,90	2,978	67	
5	1/2/5	ТПУ	2,5-	100	12.879	14,42	3,079	62	
6	1/2/6	1113	3,5	100	12.933	70			
7	1/2/7				12.881 13,36			63	
8	1/2/8				13.110	12,76	3,498	64	
9	1/2/9				12.882	14,11	3,611	56	
10	1/2/10				12.902	13,85	2,711	64	
ОБРАЗ	ВЕЦ 4 (ПС	DBEPXHOC	ТЬ 10)						
1	1/2/12				6.440	18,43	2,019	57	
2	1/2/22				6.511	16,75	2,009	56	
3	1/2/32				6.432	18,13	2,004	53	
4	1/2/42				6.264	2.879 14,42 3,079 62 2.933 14,81 3,122 70 2.881 13,36 3,564 63 3.110 12,76 3,498 64 2.882 14,11 3,611 56 2.902 13,85 2,711 64 3.440 18,43 2,019 57 5.511 16,75 2,009 56 5.432 18,13 2,004 53 5.264 17,95 2,011 52 5.522 17,49 2,013 48 5.487 16,89 2,014 49 5.498 17,32 2,012 50			
5	1/2/52	ТПУ	2,5-	50	6.522	17,49	2,013	48	
6	1/2/62	1117	3,5		6.487	16,89	2,014	49	
7	1/2/72				6.498	17,32	2,012	50	
8	1/2/82				6.501	17,77	2,013	51	
9	1/2/92				6.552	18,14	2,010	51	
10	1/2/12				6.542	17,84	2,017	53	
ОБРАЗЕЦ 4 (ПОВЕРХНОСТЬ 10)									
1	1/2/13	тпу	2,5-	20	3.782	7.98	1,731	42	
2	1/2/23	ТПУ	3,5	20	3.767	8,23	1,738	41	
L	<u> </u>		1	I .	<u>I</u>	1	1	1	

3	1/2/33		3.562	8,12	1,727	35
4	1/2/43		3.597	7,92	1,749	40
5	1/2/53		3.782	7,73	1,730	38
6	1/2/63		3.578	8,12	1,724	43
7	1/2/73		3.456	8,12	1,722	43
8	1/2/83		3.876	7,99	1,724	40
9	1/2/93		3.457	8,22	1,724	35
10	1/2/13		3.967	8,11	1,703	41

приложение в

Статистические показатели прочности при растяжении, удлинения при разрыве (ϵ , %), плотности (Γ /см³) и твердости по Шору (A) образцов, принятых к испытаниям

ТАБЛИЦА В1 Статистические показатели прочности при растяжении образцов поверхности 1 из фотополимера при различном заполнении ячеек заполнении ячеек

			%		Пр	очность при растя	іжении	
1911	иал	da MM		о Статистические показатели				
Образцы	Материал	Размер ячейки, м	Заполнен	Средняя арифметическая (М)	Медиана, (Ме)	Стандартное квадратичное отклонение, (σ)	Коэффициент вариации, (Cv), %	Средняя ошибка средней арифметической, (m)
Образец 1 (поверхность 1)	Фотополимер	2,5-3,5	100	15.79	16.0125	0.40	2.50	0.13
Образец 1 (поверхность 1)	Фотополимер	2,5-3,5	50	13.12	13.105	0.13	1.02	0.04
Образец 1 (поверхность 1)	Фотополимер	2,5-3,5	20	4,99	5,004	0,04	0,74	0,01

ТАБЛИЦА В2 Статистические показатели прочности при растяжении образцов поверхности 1 из ТПУ при

различном заполнении ячеек

1									
					Про	чность при растяж	ении		
Пе	лал	da da	ние,	Статистические показатели					
Образцы	Материал Размер ячейки, мм Заполнение,		Заполне %	Средняя арифметическая (М)	арифметическая Медиана, (Ме)		Коэффициент вариаций, (Cv), %	Средняя ошибка средней арифметической, (m)	
Образец 1 (поверхность 1)	ТПУ	2,5-3,5	100	14,26	14,3205	0,29	2,05	0,10	
Образец 1 (поверхность 1)	ТПУ	2,5-3,5	50	9,22	9,224	0,03	0,32	0,01	
Образец 1 (поверхность 1)	ТПУ	2,5-3,5	20	4,84	4,8395	0,04	0,84	0,01	

ТАБЛИЦА ВЗ Статистические показатели прочности при растяжении образцов поверхности 5 из

фотополимера при различном заполнении ячеек

			%]	Прочность при рас	тяжении	
1911	аал	d;	Статистические показатели					
Образ	Материал	Размер ячейки, м	Заполнен	Средняя арифметическая (М)	ифметическая (Ме) квадратично		Коэффициент вариации, (Cv), %	Средняя ошибка средней арифметической, (m)
Образец 2 (поверхность 5)	Фотополимер	2,5-3,5	100	15,98	16,0215	0,13	0,82	0,04
Образец 2 (поверхность 5)	Фотополимер	2,5-3,5	50	11,02	11,03	0,01	0,11	0,03
Образец 2 (поверхность 5)	Фотополимер	2,5-3,5	20	5,76	5,773	0,03	0,52	0,02

ТАБЛИЦА В4 Статистические показатели прочности при растяжении образцов поверхности 5 из ТПУ при различном заполнении ячеек

			.;		Про	чность при растях	кении	
1461	иал	ер , мм	лнение %		Ста	атистические показа	птели	
Образцы	Материал	Разме	Заполне	Средняя арифметическая (М)	Медиана, (Ме)	Стандартное квадратичное отклонение, (σ)	Коэффициент вариаций, (Cv), %	Средняя ошибка средней арифметической, (m)
Образец 2 (поверхность 5)	ТПУ	2,5-3,5	100	18,79	18,772	0,15	0,80	0,08
Образец 2 (поверхность 5)	ТПУ	2,5-3,5	50	11,30	11,32	0,03	0,24	0,02
Образец 2 (поверхность 5)	ТПУ	2,5-3,5	20	6,50	6,498	0,02	0,28	0,01

ТАБЛИЦА В5 Статистические показатели прочности при растяжении образцов поверхности 7 из

фотополимера при различном заполнении ячеек

			%		Пј	очность при растя	нжении	
1161	иал	ер , мм	•		C	татистические пока	затели	
Образ	Материал	Размер ячейки, м	Заполнение	Средняя арифметическая (М)	Медиана, (Ме)	квалратичное Коэффициент		Средняя ошибка средней арифметической, (m)
Образец 3 (поверхность 7)	Фотополимер	2,5-3,5	100	12,96	12,948	0,13	1,03	0,09
Образец 3 (поверхность 7)	Фотполимер	2,5-3,5	50	7,07	7,074	0,02	0,23	0,01
Образец 3 (поверхность 7)	Фотополимер	2,5-3,5	20	3,61	3,578	0,16	4,57	0,12

ТАБЛИЦА В6 Статистические показатели прочности при растяжении образцов поверхности 7 из ТПУ при различном заполнении ячеек

Прочность при растяжении Заполнение, % Размер ячейки, мм Материал Образцы Статистические показатели Средняя ошибка Средняя Стандартное Коэффициент средней арифметическая Медиана, (Ме) квадратичное вариаций, (Сv), % арифметической, отклонение, (σ) (M) (m) Образец ΤПУ 2,5-3,5 100 13,77 13,679 0,29 2,02 0,20 (поверхность 7) Образец ТПУ 2,5-3,5 50 8,52 8,562 0,36 4,26 0,26 (поверхность 7) Образец 2,5-3,5 ΤПУ 20 4,49 4,563 0,22 4,95 0,16 (поверхность 7)

ТАБЛИЦА В7 Статистические показатели прочности при растяжении образцов поверхности 10 из

фотополимера при различном заполнении ячеек

			%,		Ι	Ірочность при рас	тяжении	
ı(PI	1aJI	d. MM	ие,		(Статистические пон	казатели	
Образцы	Матери	Размер ячейки, м	Заполнение	Средняя арифметическа я (М)	Медиана, (Ме) Стандартное квадратичное отклонение, (о		Коэффициент вариаций, (Cv), %	Средняя ошибка средней арифметической, (m)
Образец 4 (поверхность 10)	Фотополимер	2,5-3,5	100	15,90	15,913	0,14	0,86	0,10
Образец 4 (поверхность 10)	Фотополимер	2,5-3,5	50	8,96	8.986	0,07	0,77	0,05
Образец 4 (поверхность 10)	Фотополимер	2,5-3,5	20	4,57	4,568	0,11	2,42	0,08

ТАБЛИЦА В8 Статистические показатели прочности при растяжении образцов поверхности 10 из ТПУ при

различном заполнении ячеек

					Проч	чность при растяж	ении	
ЦЫ	иал	ер, мм	эние		Ста	тистические показа	гели	
Образцы	Материал	Размер ячейки, м	Заполнение %	Средняя арифметическая (М)	Медиана, (Ме)	Стандартное квадратичное отклонение, (о)	Коэффициент вариаций, (Cv), %	Средняя ошибка средней арифметической, (m)
Образец 4 (поверхность 10)	ТПУ	2,5-3,5	100	13,54	13,009	1,00	7,36	0,70
Образец 4 (поверхность 10)	ТПУ	2,5-3,5	50	6,46	6,44	0,04	0,67	0,03
Образец 4 (поверхность 10)	ТПУ	2,5-3,5	20	3,70	3,767	0,12	3,32	0,09

ТАБЛИЦА В9 Статистические показатели удлинения при разрыве образцов поверхности 1 из фотополимера при

различном заполнении ячеек

1								
			%			Удлинение при ра	зрыве	
III	иал	Размер чейки, мм	нение,			Статистические пов	сазатели	
Образцы	Материал		Заполне	Средняя арифметическая (М)	Медиана, (Ме)	Стандартное квадратичное отклонение, (о)	Коэффициент вариаций, (Cv), %	Средняя ошибка средней арифметической, (m) 0.21 0.30 0,14
Образец 1 (поверхность 1)	Фотополимер	2,5-3,5	100	19.72	19.71	0.29	1.47	0.21
Образец 1 (поверхность 1)	Фотополимер	2,5-3,5	50	28.08	27.89	0.42	1.50	0.30
Образец 1 (поверхность 1)	Фотополимер	2,5-3,5	20	7,92	7,92	0,20	2,46	0,14

ТАБЛИЦА В10 Статистические показатели удлинения при разрыве образцов поверхности 1 из ТПУ при

различном заполнении ячеек

_ 4		_	%	Удлинение при разрыве					
ПРІ	иал	de dw	ие,		Ст	атистические показател	И		
Образцы	Материал	Размер ячейки, м	Заполнение	Средняя арифметическая (М)	Медиана, (Ме)	Стандартное квадратичное отклонение, (о)	Коэффициент вариаций, (Cv), %	Средняя ошибка средней арифметической, (m)	
Образец 1 (поверхность 1)	ТПУ	2,5-3,5	100	13.18	13.17	0,19	1,44	0,13	
Образец 1 (поверхность 1)	ТПУ	2,5-3,5	50	17,51	17,66	0,70	4,01	0,50	
Образец 1 (поверхность 1)	ТПУ	2,5-3,5	20	10,11	10,01	0,21	2,10	0,15	

ТАБЛИЦА В11 Статистические показатели удлинения при разрыве образцов поверхности 5 из фотополимера

при различном заполнении ячеек.

	н	N	% Удлинение при разрыве					
131161	риал	57 7	ение		Ст	атистические показ	атели	
Образцы	Материал	Размо	Заполнение	Средняя арифметическая (М)	Медиана, (Ме)	диана, (Ме) квадратичное вариаций, сред		Средняя ошибка средней арифметической, (m)
Образец 2 (поверхность 5)	Фотополимер	2,5-3,5	100	20,26	20,64	0,71	3,52	0,50
Образец 2 (поверхность 5)	Фотополимер	2,5-3,5	50	38,29	38,42	0,48	1,26	0,34
Образец 2 (поверхность 5)	Фотополимер	2,5-3,5	20	10,12	10,02	0,21	2,10	0,15

ТАБЛИЦА В12 Статистические показатели удлинения при разрыве образцов поверхности 5 из ТПУ при различном заполнении ячеек.

пал вер вер мм			%		Уд	линение при разрь	іве	
		L # -	ние,		Ста	гистические показа	гели	
Образцы	Материал	Размер ячейки, мм Заполнение,%		Средняя арифметическая (М)	Медиана, (Ме)	Стандартное квадратичное отклонение, (σ)	Коэффициент вариаций, (Cv), %	Средняя ошибка средней арифметической, (m)
Образец 2 (поверхность 5)	ТПУ	2,5-3,5	100	20,21	20,59	0,66	3,47	0,45
Образец 2 (поверхность 5)	ТПУ	2,5-3,5	50	19.71	19.70	0.28	1.46	0.20
Образец 2 (поверхность 5)	ТПУ	2,5-3,5	20	9,33	9,37	0,07	0,78	0,05

ТАБЛИЦА В13 Статистические показатели удлинения при разрыве образцов поверхности 7 из

фотополимера при различном заполнении ячеек.

			,		,	Удлинение при раз	рыве		
1911	иал	ep , mm	эние,		C	татистические пока	затели	_	
Образцы	Материал	Размер ячейки, м	Заполнение	Средняя арифметическая (М)	Медиана, (Ме)	квадратичное вариаций, (Су), %		средней арифметической,	
Образец 3 (поверхность 7)	Фотополимер	2,5-3,5	100	17,52	17,665	0,71	4,03	0,51	
Образец 3 (поверхность 7)	Фотополимер	2,5-3,5	50	31,67	31,56	0,30	0,95	0,21	
Образец 3 (поверхность 7)	Фотополимер	2,5-3,5	20	7,92	7,92	0,20	2,46	0,14	

ТАБЛИЦА В14 Статистические показатели удлинения при разрыве образцов поверхности 7 из ТПУ при различном заполнении ячеек.

					Удли	нение при разрыве	;	
ार्यश	иал	ep , mm	эние		Статис	тические показател	И	
Образцы	Материал	Размер ячейки, мм Заполнение,		Средняя арифметическая (М)	Медиана, (Ме)	Стандартное квадратичное отклонение, (о)	Коэффициент вариаций, (Cv), %	Средняя ошибка средней арифметической, (m)
Образец 3 (поверхность 7)	ТПУ	2,5-3,5	100	13.18	13.17	0,19	1,44	0,13
Образец 3 (поверхность 7)	ТПУ	2,5-3,5	50	17,50	17,5	0,73	4,11	0,54
Образец 3 (поверхность 7)	ТПУ	2,5-3,5	20	10,11	10,01	0,21	2,10	0,15

ТАБЛИЦА В15 Статистические показатели удлинения при разрыве образцов поверхности 10 из фотополимера при различном заполнении ячеек.

			%			Удлинение при ра	зрыве			
1योग	иал	ер, мм				Статистические пок	азатели	т Средняя ошибка средней арифметической, (m) 0,57 0,33		
Образцы	Материал	Размер ячейки, м	Заполнение	Средняя арифметическая, (М)	Медиана, (Ме)	Стандартное квадратичное отклонение, (σ)	Коэффициент вариаций, (Cv), %	средней арифметической, (m) 0,57		
Образец 4 (поверхность 10)	Фотополимер	2,5-3,5	100	17,47	17,46	0,60	4,21	0,57		
Образец 4 (поверхность 10)	Фотополимер	2,5-3,5	50	38,28	38,41	0,47	1,25	0,33		
Образец 4 (поверхность 10)	Фотполимер	2,5-3,5	20	9,37	9,37	0,07	0,78	0,05		

ТАБЛИЦА В16 Статистические показатели удлинения при разрыве образцов поверхности 10 из ТПУ при различном заполнении ячеек.

					Уд	линение при разрь	ыве	
Піы	иал	ф, мм	зние,		Ста	тистические показа	гели	
Образцы	Размер ячейки, м	Заполнение %	Средняя арифметическая, (М)	Медиана, (Ме)	Стандартное квадратичное отклонение, (σ)	Коэффициент вариаций, (Cv), %	Средняя ошибка средней арифметической, (m)	
Образец 4 (поверхность 10)	ТПУ	2,5-3,5	100	14,10	14,15	0,64	4,55	0,45
Образец 4 (поверхность 10)	ТПУ	2,5-3,5	50	17,51	17,66	0,70	4,01	0,50
Образец 4 (поверхность 10)	ТПУ	2,5-3,5	20	7,86	7,86	0,25	3,17	0,18

ТАБЛИЦА В17 Статистические показатели плотности образцов поверхности 1 из фотополимера при различном заполнении ячеек.

			%			Плотность, г/см3				
11191	иал	ep , ww	ние, ^с	Статистические показатели						
Образцы	Материал	Размер ячейки, м	Заполнение,%	Средняя арифметическая Мед (М) (N		Стандартное квадратичное отклонение, (о)	Коэффициент вариаций, (Cv), %	Средняя ошибка средней арифметической, (m)		
Образец 1 (поверхность 1)	Фотополимер	2,5-3,5	100	2,27	2,275	0,02	0,77	0,01		
Образец 1 (поверхность 1)	Фотополимер	2,5-3,5	50	1,19	1,195	0,05	4,18	0,04		
Образец 1 (поверхность 1)	Фотополимер	2,5-3,5	20	1,01	1,009	0,01	0,76	0,01		

ТАБЛИЦА В18 Статистические показатели плотности образцов поверхности 1 из ТПУ при различном

заполнении ячеек. Образец 1 (поверхность 1)

			%,			Плотность, г/см3		
цы	иал	de	ние, ⁰		Ста	гистические показа	гели	
Образцы	Материал	Размер ячейки, м	Заполнение	Средняя арифметическая (М)	Медиана, (Ме)	Стандартное квадратичное отклонение, (σ)	Коэффициент вариаций, (Cv), %	Средняя ошибка средней арифметической, (m)
Образец 1 (поверхность 1)	ТПУ	2,5-3,5	100	3.38	3.4645	0.27	8.11	0.09
Образец 1 (поверхность 1)	ТПУ	2,5-3,5	50	2,63	2,618	0,03	1,27	0,02
Образец 1 (поверхность 1)	ТПУ	2,5-3,5	20	1,82	1,824	0,02	0,80	0,02

ТАБЛИЦА В19 Статистические показатели плотности образцов поверхности 5 из фотополимера при различном заполнении ячеек.

			0,			Плотность, г/см.	3	
11911	иал	ep , mm	Б (М) (Ме) отклонение, (σ) % 5-3,5 100 2,27 2,274 0,02 0,71					
Образцы	Материал	Размер ячейки, м	Заполне	арифметическая		квадратичное	вариаций, (Cv),	Средняя ошибка средней арифметической, (m)
Образец 2 (поверхность 5)	Фотополимер	2,5-3,5	100	2,27	2,274	0,02	0,71	0,01
Образец 2 (поверхность 5)	Фотополимер	2,5-3,5	50	1,67	1,664	0,05	2,89	0,03
Образец 2 (поверхность 5)	Фотополимер	2,5-3,5	20	0,84	0,838	0,03	1,63	0,03

ТАБЛИЦА В20 Статистические показатели плотности образцов поверхности 5 из ТПУ при различном заполнении ячеек

			%			Плотность, г/см3		
ार्याः	иал	ep , ww			Ста	гистические показа	гели	
Образцы	Материал	Размер ячейки, м	Заполнение	Средняя арифметическая (М)	Медиана, (Ме)	Стандартное квадратичное отклонение, (σ)	Коэффициент вариаций, (Cv), %	Средняя ошибка средней арифметической, (m)
Образец 2 (поверхность 5)	ТПУ	2,5-3,5	100	3,04	3,088	0,11	3,66	0,08
Образец 2 (поверхность 5)	ТПУ	2,5-3,5	50	2,63	2,618	0,03	1,27	0,02
Образец 2 (поверхность 5)	ТПУ	2,5-3,5	20	1,72	1,731	0,02	1,07	0,02

ТАБЛИЦА В21 Статистические показатели плотности образцов поверхности 7 из фотополимера при различном заполнении ячеек

			%			Плотность, г/см	3		
itei	иал	Размер ячейки, мм	ие,%		Ст	сатистические показ	атели		
Образцы	Материал		Заполнение,	Средняя арифметическая (М)	Медиана, (Ме)	Стандартное квадратичное отклонение, (о)	Коэффициент вариаций, (Cv), %	, (Cv), % средней арифметической, (m) 0,02	
Образец 3 (поверхность 7)	Фотополимер	2,5-3,5	100	2,28	2,276	0,03	0,78	0,02	
Образец 3 (поверхность 7)	Фотополимер	2,5-3,5	50	1,20	1,207	0,06	4,19	0,05	
Образец 3 (поверхность 7)	Фотополимер	2,5-3,5	20	0,85	0,848	0,03	1,65	0,03	

ТАБЛИЦА В22 Статистические показатели плотности образцов поверхности 7 из ТПУ при различном заполнении ячеек.

			%			Плотность, г/см3		Средняя ошибка средней арифметической, (m) 0.09 0,01
1451	иал	ep , mm	Заполнение, 9		Ста	гистические показа	гели	
Образцы	Материал	Материа Размер ячейки, м		Средняя арифметическая (М)	Медиана, (Ме)	Стандартное квадратичное отклонение, (σ)	Коэффициент вариаций, (Cv), %	средней арифметической,
Образец 3 (поверхность 7)	ТПУ	2,5-3,5	100	3.37	3.4645	0.27	7.87	0.09
Образец 3 (поверхность 7)	ТПУ	2,5-3,5	50	2,25	2,253	0,02	0,75	0,01
Образец 3 (поверхность 7)	ТПУ	2,5-3,5	20	1,82	1,824	0,02	0,80	0,02

ТАБЛИЦА В23 Статистические показатели плотности образцов поверхности 10 из фотополимера при различном заполнении ячеек.

			0			Плотность, г/см	13	
咽	иал	Размер чейки, мм	ние,9		C	татистические пока	затели	
Образцы	Материал		Заполнение,%	Средняя арифметическая (М)	Медиана, (Ме)	квадратичное вариаций, (Сv), %		Средняя ошибка средней арифметической, (m)
Образец 4 (поверхность 10)	Фотополимер	2,5-3,5	100	2,29	2,277	0,01	0,79	0,02
Образец 4 (поверхность 10)	Фотополимер	2,5-3,5	50	1,01	1,009	0,01	0,76	0,01
Образец 4 (поверхность 10)	Фотополимер	2,5-3,5	20	0,83	0,838	0,03	1,62	0,03

ТАБЛИЦА В24 Статистические показатели плотности образцов поверхности 10 из ТПУ при различном заполнении ячеек.

			%		Плотность, г/см3				
1451	иал	ep, ww	Заполнение, 9		Ста	атистические показа	тели		
Образцы	Материал	Материа Размер ячейки, м		Средняя арифметическая (М)	Медиана, (Ме)	Стандартное квадратичное отклонение, (о)	Коэффициент вариаций, (Cv), %	Средняя ошибка средней арифметической, (m)	
Образец 4 (поверхность 10)	ТПУ	2,5-3,5	100	3.28	3.276	0.32	9.69	0.11	
Образец 4 (поверхность 10)	ТПУ	2,5-3,5	50	2,27	2,275	0,02	0,77	0,01	
Образец 4 (поверхность 10)	ТПУ	2,5-3,5	20	1,73	1,731	0,03	1,08	0,02	

ТАБЛИЦА В25 Статистические показатели твердости по Шору образцов поверхности 1 из фотополимера

при различном заполнении ячеек.

при разлити	M Sanomenn	i /i iccit.									
			%			Твердость по Шо	py				
Щы	иал	ep , ww	•		Статистические показатели						
Образцы	Материал Размер ячейки, мм		Заполнение	Средняя арифметическая (М)	Медиана, (Ме)	Стандартное квадратичное отклонение, (σ)	Коэффициент вариаций, (Cv), %	Средняя ошибка средней арифметической, (m)			
Образец 1 (поверхность 1)	Фотополимер	2,5-3,5	100	81,90	83	2,64	3,23	0,88			
Образец 1 (поверхность 1)	Фотополимер	2,5-3,5	50	63,10	62	6,10	9,67	2,03			
Образец 1 (поверхность 1)	Фотополимер	2,5-3,5	20	51,30	51,5	2,50	4,87	0,83			

ТАБЛИЦА В26 Статистические показатели твердости по Шору образцов поверхности 1 из ТПУ при различном заполнении ячеек.

			0		r	Гвердость по Шору	у	
ПВ	иал	ep, MM	ние,º		Ста	гистические показа	гели	Средняя ошибка средней арифметической, (m) 1,09 0,87
Материал	Разме ячейки,	Заполнение,%	Средняя арифметическая (М)	Медиана, (Ме)	Стандартное квадратичное отклонение, (σ)	Коэффициент вариаций, (Cv), %	средней арифметической,	
Образец 1 (поверхность 1)	ТПУ	2,5-3,5	100	90,80	91,5	3,26	3,55	1,09
Образец 1 (поверхность 1)	ТПУ	2,5-3,5	50	73,20	72,5	2,62	3,57	0,87
Образец 1 (поверхность 1)	ТПУ	2,5-3,5	20	44,30	44,5	2,16	4,88	0,72

ТАБЛИЦА В27 Статистические показатели твердости по Шору образцов поверхности 5 из фотополимера при различном заполнении ячеек.

		, MM	%			Твердость по Шо	py	
1911:	иал			Статистические показатели				
Образцы	Материал	Размер ячейки, мм Заполнение		Средняя арифметическая (М)	Медиана, (Ме)	Стандартное квадратичное отклонение, (σ)	Коэффициент вариаций, (Cv), %	Средняя ошибка средней арифметической, (m)
Образец 2 (поверхность 5)	Фотополимер	2,5-3,5	100	70,10	70,5	2,81	4,00	0,94
Образец 2 (поверхность 5)	Фотополимер	2,5-3,5	50	54,80	55	2,78	5,07	0,93
Образец 2 (поверхность 5)	Фотополимер	2,5-3,5	20	47,30	46	3,56	7,53	1,19

ТАБЛИЦА В28 Статистические показатели твердости по Шору образцов поверхности 5 из ТПУ при различном заполнении ячеек.

						Твердость по Шо	py	
цы	иал	ep , mm	эние,	Статистические показатели				
Образцы	Материал Размер ячейки, мм		Заполнение,	Средняя арифметическая (М)	Медиана, (Ме)	Стандартное квадратичное отклонение, (σ)	Коэффициент вариаций, (Cv), %	Средняя ошибка средней арифметической, (m)
Образец 2 (поверхность 5)	ТПУ	2,5-3,5	100	64,70	64	3,50	5,41	1,17
Образец 2 (поверхность 5)	ТПУ	2,5-3,5	50	58,10	59	3,57	6,15	1,19
Образец 2 (поверхность 5)	ТПУ	2,5-3,5	20	41,30	42,5	3,50	8,47	1,17

ТАБЛИЦА В29 Статистические показатели твердости по Шору образцов поверхности 7 из фотополимера

при различном заполнении ячеек.

nph pushi mon sunosinenim x reek.									
IIBI	Материал	Размер ячейки, мм	Заполнение,%	Твердость по Шору					
				Статистические показатели					
Образцы				Средняя арифметическая (М)	Медиана, (Ме)	Стандартное квадратичное отклонение, (σ)	Коэффициент вариаций, (Cv), %	Средняя ошибка средней арифметической, (m)	
Образец 3 (поверхность 7)	Фотополимер	2,5-3,5	100	91,40	91,5	3,84	4,20	1,28	
Образец 3 (поверхность 7)	Фотополимер	2,5-3,5	50	80,00	80,5	2,45	3,06	0,82	
Образец 3 (поверхность 7)	Фотополимер	2,5-3,5	20	48,80	50	3,99	8,19	1,33	

ТАБЛИЦА ВЗО Статистические показатели твердости по Шору образцов поверхности 7 из ТПУ при

различном заполнении ячеек.

	Материал	Размер ячейки, мм	Заполнение,	Твердость по Шору Статистические показатели						
Образцы										
				Средняя арифметическая (М)	Медиана, (Ме)	Стандартное квадратичное отклонение, (σ)	Коэффициент вариаций, (Cv), %	Средняя ошибка средней арифметической, (m)		
Образец 3 (поверхность 7)	ТПУ	2,5-3,5	100	91,30	90	3,09	3,39	1,03		
Образец 3 (поверхность 7)	ТПУ	2,5-3,5	50	71,00	71	3,40	4,79	1,13		
Образец 3 (поверхность 7)	ТПУ	2,5-3,5	20	54,80	54	3,77	6,87	1,26		

ТАБЛИЦА ВЗ1 Статистические показатели твердости по Шору образцов поверхности 10 из фотополимера

при различном заполнении ячеек.

		Размер ячейки, мм	Заполнение,	Твердость по Шору					
Образцы	Материал			Статистические показатели					
				Средняя арифметическая (М)	Медиана, (Ме)	Стандартное квадратичное отклонение, (о)	Коэффициент вариаций, (Cv), %	Средняя ошибка средней арифметической, (m)	
Образец 4 (поверхность 10)	Фотополимер	2,5-3,5	100	64,70	64	3,95	6,10	1,32	
Образец 4 (поверхность 10)	Фотополимер	2,5-3,5	50	58,10	59	4,41	7,59	1,47	
Образец 4 (поверхность 10)	Фотополимер	2,5-3,5	20	44,30	44,5	2,16	4,88	0,72	

ТАБЛИЦА В32 Статистические показатели твердости по Шору образцов поверхности 10 из ТПУ при различном заполнении ячеек

Образцы	Материал	Размер ячейки, мм	Заполнение,%	Твердость по Шору						
				Статистические показатели						
				Средняя арифметическая (М)	Медиана, (Ме)	Стандартное квадратичное отклонение, (σ)	Коэффициент вариации, (Cv), %	Средняя ошибка средней арифметической, (m)		
Образец 4 (поверхность 10)	ТПУ	2,5-3,5	100	63,10	63,5	3,98	6,31	1,33		
Образец 4 (поверхность 10)	ТПУ	2,5-3,5	50	52,00	51,5	2,87	5,51	0,96		
Образец 4 (поверхность 10)	ТПУ	2,5-3,5	20	39,80	40,5	2,94	7,38	0,98		

приложение г

Апробация результатов исследования



АО «Егорьевск–обувь» ИНН 5011017647 / КПП 501101001 Россия, 140305 Московская область, г. Егорьевск, ул. Владимирская д.8

Телефон: +7 496 40 4-05-32

Факс:

+7 496 40 4-05-34 www.kotofey.ru

Сайт: E-mail:

info@kotofey.ru

«УТВЕРЖДАЮ» Генеральный директор АО «Егорьевск-обувь»

Сорокин С.В.

2022 г.

производственной апробации результатов диссертационной работы Коноваловой О.Б. «Параметрическое проектирование материалов с реконфигурируемой трехмерной структурой в производстве товаров народного потребления» (грант РФФИ № 20-38-90047/20 от 20.08.20 г.)

AKT

Настоящий акт составлен представителями АО «Егорьевск-обувь» и ФГБОУ ВО «РГУ им. А.Н. Косыгина» о том, что в производственных условиях АО «Егорьевск-обувь» на современном 3-D оборудовании предприятия по разработанным РГУ им. А.Н. Косыгина алгоритмам каркасных материалов с заполненными ячейками и на базе структурной решетки из разных филаментов изготовлены 20 экспериментальных образцов материалов и 10 экспериментальных макетов изделий. Таким образом подтверждена состоятельность предложенных алгоритмов структур материалов и возможность их реализации при изготовлении деталей низа обуви. Для оценки перспективности применения материалов в производстве обуви рекомендуется исследовать их физико-механические свойства.

Представители АО «Егорьевск-обувь»

Исполнительный директор Евплов А.В.

Техник-конструктор Урусов С.Е.

Руководитель развития ассортимента

Ермакова А.Р.

Представители ФГБОУ ВО «РГУ им. А.Н. Косыгина» проф., д.т.н. Костылева В. В.

доц., к.т.н. Белицкая О.А.

асп. Коновалова О.Б.

р/с 40702.8102.40120100100 БИК 044525225 к/с 30101.8104.00000000225 Среднерусского банка ПАО «Сбербанк России»



АО «Егорьевск-обувь» ИНН 5011017647 / КПП 501101001 Россия, 140305 Московская область, г. Егорьевск, ул. Владимирская д.8

Телефон: +7 496 40 4-05-32 +7 496 40 4-05-34 Факс. Сайт: www.kotofey.ru info@kotofey.ru E-mail:



AKT

производственной апробации результатов диссертационной работы Коноваловой О.Б. «Параметрическое проектирование материалов с реконфигурируемой трехмерной структурой в производстве товаров народного потребления» (грант РФФИ № 20-38-90047/20 от 20.08.20 г.)

Настоящий акт составлен представителями АО «Егорьевск-обувь» и ФГБОУ ВО «РГУ о том, что в производственных условиях АО «Егорьевск-обувь» им. А.Н. Косыгина» физико-механических свойств (Договор №1001 от 31.05.2022) проведена оценка из разных филаментов на изготовленных экспериментальных образцов материалов, Исходя ИЗ предположения, 3D-оборудовании предприятия. современном экспериментальные материалы сочетают в себе свойства резины и термоэластопластов, то есть это материалы для деталей низа обуви, в ходе физико-механических испытаний установлены прочность при растяжении, удлинение при разрыве, плотность по Шору и твердость по Шору. Сравнение плотности по Шору проб экспериментальных материалов и эмпирических показателей отдельных материалов подошв, используемых на Егорьевской обувной фабрике для производства обуви различного назначения, показало, что к плотности ТЭП подошв ф. JEANS (на туфли или ботинки малодетские, дев., осень-весна), ANNA 2 (на сапоги, ботинки, осень-весна) и ТЭП подошв на туфли летние, м. 322107-25 наиболее приближены параметры образцов:

- № 1 (поверхность 1) из фотополимера с 50% и 20% заполнением ячеек;
- №2 (поверхности 5) из фотополимера с 20% заполнением ячеек;
- № 3 (поверхности 7) из фотополимера с 50% и 20% заполнением ячеек;

• №4 (поверхности 10) из фотополимера с 50% и 20% заполнением ячеек. Полученные ФГБОУ ВО «РГУ им. А.Н. Косыгина» результаты могут составить основу перспективной политики предприятия в области совершенствования конструкций низа обуви с учетом потребительских предпочтений.

Представители АО «Егорьевск-обувь»

Исполнительный директор Евплов А.В. Начальник отдела качества

Радушкевич Н.А.

Техник-конструктор Урусов С.Е.

Представители ФГБОУ ВО «РГУ им. А.Н. Косыгина» проф., д.т.н. Костылева В. В.

доц., к.т.н. Белицкая О.А. Вие— асп. Коновалова О.Б. Коссев

р/с 40702.8102.40120100100 БИК 044525225 к/с 30101.8104.00000000225 Среднерусского банка ПАО «Сбербанк России»



Председатель оргкомитета Тягунова Л.А.

Ген. директор ООО "ИУСЭР" Чернышова О.А.



27.11.2019

