

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего
образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт кибернетики
Направление подготовки 54.04.01 «Дизайн»
Кафедра инженерной графики и промышленного дизайна

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Методы системного дизайна в проектировании ортопедической обуви
УДК 615.477.1-025.13

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ДМ51	Крайняя Р. Г.		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ИГПД	Вехтер Е. В.	к. пед. н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры МЕН	Конотопский В. Ю.	к. э. н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент кафедры ЭБЖ	Мезенцева И. Л.	-		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ИГПД	Захарова А. А.	д. т. н.		

Томск – 2017 г.

Запланированные результаты обучения по программе

На основании ФГОС ВПО, стандарта ООП ГОУ ВПО НИ ТПУ, ООП по профилю «Промышленный дизайн» направления подготовки 54.04.01 «Дизайн» включают:

Код результата	Результат обучения
Профессиональные компетенции	
P1	Применять глубокие общенаучные, экономические и профессиональные знания для создания оригинальных дизайн-проектов (объектов).
P2	Применять глубокие знания в области современных технологий и методов создания дизайн – объектов для решения профессиональных творческих задач
P3	Ставить и решать инновационные задачи, связанные с конструированием, макетированием и моделированием композиционных решений дизайн - объектов
P4	Разрабатывать проектную идею, основанную на концептуальном и творческом подходе к решению дизайнерских задач, ориентированную на создание инновационной продукции, востребованной на мировом рынке
P5	Проводить исследования в области промышленного дизайна, быть готовым вести педагогическую деятельность в общеобразовательных учреждениях, образовательных учреждениях среднего профессионального и дополнительного образования.
Универсальные компетенции	
P6	Использовать глубокие знания по проектному менеджменту для ведения инновационной деятельности в области промышленного дизайна с учетом юридических аспектов защиты интеллектуальной собственности.
P7	Активно владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в иноязычной среде, разрабатывать эскизную документацию, презентовать и защищать результаты инновационной деятельности в области промышленного дизайна.
P8	Эффективно работать как индивидуально, так и в качестве члена и руководителя команды, состоящей из специалистов различных направлений и квалификаций, демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность следовать корпоративной культуре организации.
P9	Демонстрировать глубокие знания социальных, этических и культурных аспектов инновационной деятельности в области промышленного дизайна
P10	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего
образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт кибернетики
Направление подготовки 54.04.01 «Дизайн»
Кафедра инженерной графики и промышленного дизайна

УТВЕРЖДАЮ:
Зав. кафедрой

(Подпись) (Дата) Захарова А.А.
(Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
8ДМ51	Крайней Р. Г.

Тема работы:

Методы системного дизайна в проектировании ортопедической обуви	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	от 28.02.2017 г., №1400/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	16.06.2017
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе</p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Объект исследования – рынок обувной продукции. Предмет исследования – обувные изделия, сконструированные для профилактики развития деформаций стоп, и направленные на удовлетворение потребительского спроса. Цель исследования - разработка дизайн - концепции обувной пары, применением методологии системного дизайна. Разработка модели, ориентированной на мелкосерийное производство.</p>
---	--

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Изучение специальной литературы, исследование по направлениям: антропометрия, форма, цвет, психология восприятия); 2. обработка материала, анализ существующих аналогов; 3. анализ материально-технической базы производства; 4. теоретический анализ концептуального решения; 5. конструирование опытного образца.
<p>Перечень графического материала</p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>Презентационный планшет (в количестве 2 шт.), электронная презентация, бренд-бук, реальный и виртуальный макеты.</p>
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</p> <p><i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p>Раздел</p>	<p>Консультант</p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Конотопский В. Ю., доцент кафедры МЕН</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Мезенцева И. Л., ассистент кафедры ЭБЖ</p>
<p>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</p>	
<p>Автореферат «Методы системного дизайна в проектировании ортопедической обуви»</p>	

<p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p>	
--	--

Задание выдал руководитель:

<p>Должность</p>	<p>ФИО</p>	<p>Ученая степень, звание</p>	<p>Подпись</p>	<p>Дата</p>
<p>Доцент кафедры ИГПД</p>	<p>Вехтер Е. В.</p>	<p>к. пед. н.</p>		

Задание принял к исполнению студент:

<p>Группа</p>	<p>ФИО</p>	<p>Подпись</p>	<p>Дата</p>
<p>8ДМ51</p>	<p>Крайняя Р. Г.</p>		

Министерство образования и науки Российской Федерации
 федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего
 образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт кибернетики
 Направление подготовки 54.04.01 «Дизайн»
 Уровень образования - магистратура
 Кафедра инженерной графики и промышленного дизайна
 Период выполнения - весенний семестр 2016/2017 учебного года

Форма представления работы:

Магистерская диссертация

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
 выполнения выпускной квалификационной работы**

Срок сдачи студентом выполненной работы:	16.06.2017
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
1.03.2017	1. Научно-исследовательская часть	15
14.03.2017	2. Проектно-художественная часть	15
1.04.2017	3. Разработка художественно-конструкторского решения	15
14.04.2017	4. Раздел «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	10
1.05.2017	5. Раздел «Социальная ответственность»	10
14.05.2017	6. Автореферат диссертации	10
2.06.2017	7. Оформление графического материала	15
8.06.2017	8. Макетирование	10
	ИТОГО:	100

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ИГПД	Вехтер Е. В.	к. пед. н.		

СОГЛАСОВАНО:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ИГПД	Захарова А. А.	Д. Т. Н.		

Реферат

Диссертационная работа содержит: 104 с., 28 рис., 16 табл., 80 источников, 2 приложения.

Ключевые слова: системный дизайн, ортопедическая обувь, детская продукция, трехмерное лазерное сканирование, быстрое прототипирование.

Объектом исследования является рынок обувной продукции мелкосерийного производства. Целью работы – разработка дизайн-концепции обувной пары, привлекательной для целевого потребителя, и направленной на коррекцию и предотвращение деформаций стоп. Разработка модели, ориентированной на мелкосерийное производство.

В процессе исследования проводились информационно-аналитические исследования, посвященные проблемам и тенденциям развития обувной индустрии и морфологическим особенностям строения опорно-двигательного аппарата, вопросам исследования формообразования с применением методов системного дизайна, антропометрии и цветоведения.

В результате исследования разработана конструкция обувной пары, установлены материал и технология производства.

Основные конструктивные и технологические характеристики включают: возможность трансформации и замены частей, использование технологии бесконтактного лазерного сканирования для изготовления анатомически верных стелек, быстрое прототипирование посредством 3D печати, желательную эксплуатацию в теплый период года.

Степень внедрения – концептуальная модель.

Экономическая эффективность работы, в рамках рассматриваемого региона (Томская область, Россия), может быть установлена только в перспективе, а значимость определяется социальным и экологическим эффектами.

В будущем планируется разработка опытного образца и представление его в рамках площадок краудфандинга.

Нормативные ссылки

В настоящей работе использованы ссылки на следующие стандарты:

1. ГОСТ 23251-83 Обувь. Термины и определения.
2. ГОСТ 7296-81 Обувь. Маркировка, упаковка, транспортирование и хранение.
3. ГОСТ 91555-88 Обувь спортивная резиновая и резинокотекстильная. Технические условия.
4. ГОСТ 23724-85 Колодки для спортивной обуви. Технические условия.
5. ГОСТ 24382-80 Обувь спортивная. Размеры.
6. СанПиН 2.2.4.548 – 96. Физические факторы производственной среды. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
7. СанПиН 2.2.4.1294-03. Гигиенические требования к аэроионному составу воздуха производственных и общественных помещений.
 1. СанПиН 2.2.2.542-96. Гигиенические требования к видеодисплейным терминалам, ПЭВМ и организация работы.
8. СанПиН 2.2.4/2.1.8.005-96. Электромагнитные излучения радиочастотного диапазона.
9. ГОСТ 12.1.003–83. Шум. Общие требования безопасности.
2. СН 2.2.4-2.1.8.566-96. Допустимые уровни вибрации на рабочих местах в помещениях жилых и общественных зданий.
10. СанПин 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организация работы.
11. ГОСТ 12.1.004-91 Пожарная безопасность. Общие требования.
12. ГОСТ Р 22.0.01-94 Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Основные положения.

Содержание

Введение	10
1. Аналитический обзор	15
1.1. Применение методов системного дизайна в современном проектировании	15
1.2. Обзор основных методик проектирования обуви	18
1.3. Применение информационных технологий в целях автоматизации конструкторско-технологической подготовки производства обуви	20
1.4. Автоматизация процессов проектирования обуви в среде 2D	21
1.5. САПР обуви, поддерживающие формат 3D, их возможности и алгоритм функционирования	21
1.6. Технологии обратного инжиниринга в сфере трехмерного проектирования	25
1.7. Бесконтактное трехмерное лазерное сканирование для информационного обеспечения CAD/CAM систем	26
1.8. Обзор аналогов	29
1.9. Анализ возможностей сбыта продукции	35
2. Разработка художественно-конструкторского решения	39
2.2. Конструирование формы	41
2.3. Методы комбинаторного формообразования	45
2.4. Выбор материалов	49
2.5. Процесс создания 3D-модели	50
3. Технология изготовления изделия	55
3.1. Технология быстрого прототипирования	55
3.2. Заключительная обработка поверхности	59
3.3. Экспертный анализ и оценка проекта	59
4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	62
5. Социальная ответственность	79

Заключение	97
Список использованных источников	99
Приложение А Methods of system design applicable to orthodic shoes making	107
Приложение Б Эскизный проект	127
Приложение В Отзыв руководителя	128
Диск:	В конверте на обороте обложки
Графический материал: методы системного дизайна в проектировании ортопедической обуви	Демонстрационный планшет

Введение

Актуальность темы исследования.

Современный дизайн является неотъемлемой частью повседневной жизни каждого человека, который формирует основы предметного мира в его тесном контакте с потребителем во всех без исключения сферах жизнедеятельности. Одной из главных задач дизайна является разработка изделий, удовлетворяющих многообразию потребностей человека и общества, которые воплощаются в предметные формы и образы и соответствуют тенденции индивидуализации потребления. Процесс дизайн-проектирования ортопедической обуви требует систематизации, предполагающей логически выстроенную структуру и возможность контроля, в том числе и на промежуточных этапах. Применение методов системного подхода упрощает, ускоряет процесс проектирования, сводя к минимуму возможность ошибок.

Несмотря на то, что в продаже имеется огромное количество обуви и по функциям и по дизайну, однако было выявлено, что в 65 % случаев сбои в работе всей системы вызваны деформациями, возникающими в первую очередь в областях стопы [1]. Как показывают исследования, одной из основных причин возникновения и развития подобных деформаций, является не рационально спроектированная обувь [2]. Предотвратить развитие подобных заболеваний, призвана профилактическая обувь, причем, по утверждению специалистов ФГУП «Томское протезно-ортопедическое предприятие», наиболее эффективной профилактика выступает именно в детском возрасте, в период формирования и активного роста стопы.

Актуальность исследования определяется тем, что в последнее время ухудшается состояние здоровья населения, связанное с нарушениями в работе опорно-двигательного аппарата. Дизайн-проектированию профилактической, рационально спроектированной обуви массового

производства, в конструкции которой присутствуют базовые ортопедические элементы, позволит предотвратить развитие подобных заболеваний.

Проблема исследования заключается в отсутствии на рынке профилактической обувной продукции мелкосерийного производства.

Целью исследования является разработка дизайн - концепции обувной пары, привлекательной для целевого потребителя, и изначально направленной на коррекцию и предотвращение деформаций стоп. Разработка модели ресурсоэффективной, экологичной, инновационной конструкции, созданной по рекомендациям врачей-ортопедов и ревматологов, и ориентированной на мелкосерийное производство.

Объект исследования – рынок детской обувной продукции.

Предмет исследования – обувные изделия, сконструированные для профилактики развития деформаций стоп, и направленные на удовлетворение потребительского спроса.

Гипотеза исследования. Современная статистика обращений населения в медицинские учреждения указывает на превалирование жалоб, напрямую или косвенно являющихся причиной деформаций скелета стопы. Именно поэтому, процесс проектирования и производства обувных изделий требует системного подхода и внедрения технологий, способных обеспечить выпуск анатомически верных конструкций.

В соответствии с проблемой, целью и гипотезой, были сформулированы следующие **задачи диссертационного исследования**:

1. обзор основных методик проектирования обуви с применением информационных технологий в целях автоматизации конструкторско-технологической подготовки производства;
2. обзор основных САПР проектирования обувной продукции, их возможности и алгоритмы функционирования;
3. рассмотрение технологии бесконтактного трехмерного лазерного сканирования и обратного инжиниринга;

4. разработка дизайн-концепции и проектирование формы авторской модели, используя методы системного дизайна;

5. изготовление опытного образца.

Теоретико-методологическую основу исследования составляют лекции, диссертации, свод статистик и специальной литературы, посвященные проблемам и тенденциям развития обувной индустрии и морфологическим особенностям строения опорно-двигательного аппарата; вопросам исследования формообразования с применением методов системного дизайна; антропометрии и цветоведения.

Методы исследования:

1. информационно-аналитический (изучение специальной литературы, исследование по направлениям: антропометрия, форма, цвет, психология восприятия);

2. обработка материала, анализ существующих аналогов;

3. анализ материально-технической базы производства;

4. теоретический анализ концептуального решения;

5. конструирование опытного образца.

К **научной новизне исследования** относится, прежде всего, применение методов системного дизайна для оптимизации процесса проектирования пары детской профилактической обуви в мелкосерийном промышленном производстве, отвечающей заявленным медицинским стандартам и требованиям, а также требованиям безопасности пользования и экологическим стандартам.

Практическая значимость исследования:

1. разработана конструкция обувной пары;

2. предложен принцип комбинаторного построения унифицированных элементов для обеспечения стилистического единства модельного ряда;

3. установлены материал и технология изготовления;

4. представлен опытный образец и стратегия внедрения в производство.

Апробация результатов исследования.

Текущие результаты исследований были представлены на международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых (МСИТ) и частично опубликованы в сборнике трудов Всероссийской научно-практической конференции в Томском институте бизнеса, г. Томск. Также, в процессе подготовки диссертационной работы, студентом осуществлена стажировка в лаборатории «iDeea Lab» Токийского столичного университета, факультета системного дизайна в г. Токио, Япония. Проект конструкции был в свою очередь представлен для экспертной оценки руководству компании «nnf» - создателю обувной линейки «Orphe shoes», реализуемой в рамках проекта «DMM.make.Akiba» (р-н. Акихабара, г. Токио), где получил высокую положительную оценку.

Публикации:

1. Крайняя Р. Г. Modernization of basic shoe manufacturing technological process // Молодежь и современные информационные технологии: сборник трудов XIII Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых - Томск: ТПУ, 2016 - Т. 2 - С. 196-198.

2. Крайняя Р. Г., Сотников Н. Н. Проблемы современного технологического процесса создания обуви // Сборник трудов Всероссийской научно-практической конференция в ТИБ, г. Томск, 2015.

3. Крайняя, Р. Г. Проект конструкции детских ортопедических туфель [Электронный ресурс] / Р. Г. Крайняя, Е. В. Вехтер, В. Ю. Радченко // Молодежь и современные информационные технологии : сборник трудов XIV Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, г. Томск, 7-11 ноября 2016 г. в 2 т. / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ), Институт кибернетики (ИК) ; под ред. В. С. Аврамчук [и др.]. —

Томск: Изд-во ТПУ, 2016. — Т. 2. — [С. 133-134]. — Заглавие с титульного экрана. — Свободный доступ из сети Интернет. Режим доступа: <http://earchive.tpu.ru/handle/11683/37157>.

4. Крайняя Р. Г., Вехтер Е. В., Радченко В. Ю. Особенности применения методов системного дизайна при проектировании ортопедической обуви / Исторические, философские, политические и юридические науки, культурология и искусствоведение. Вопросы теории и практики (входит в перечень ВАК) 2017. № 8. (в процессе публикации).

5. Haines Paul, Baba Tetsuaki, Kushiya Kumiko, Kraynyaya Regina / Exploring the use of traditional objects in interactive experiences // ACM Multimedia systems conference, Taipei, Taiwan, June 2017 (TAIPEI'17), 7 pages. DOI: 10.475/123_4 (в процессе публикации).

1. Аналитический обзор

1.1. Применение методов системного дизайна в современном проектировании

Сегодня дизайн – это комплексная междисциплинарная проектно-художественная деятельность, направленная на формирование на промышленной основе предметного мира в его тесном контакте с потребителем во всех без исключения сферах жизнедеятельности [3]. Именно поэтому любое проектирование в дизайне — это сложный многоступенчатый процесс, который посвящен созданию (описанию, изображению) модели некоего еще не существующего явления, объекта, прибора с наперед заданными характеристиками или свойствами [4, 5]. Указанные аспекты требуют систематичности, определенного логического порядка.

Так, системный подход ускоряет, упрощает процесс дизайн-проектирования, сводя к минимуму ошибки и погрешности, и позволяя производить контроль даже на промежуточных стадиях [6]. Такой подход основан на использовании достижений системотехники, и стремлении рационализировать методику художественного конструирования, введением логических схем, последовательностей и эталонов [7]. Кроме того, именно использование методов системного дизайна способствует наиболее эффективному внедрению инновационных технологий в процесс проектирования.

Согласно Б. Арчеру, любой промышленный предмет должен рассматриваться автором главным образом в сфере потребления, которая представляет собой систему «человек – предмет – работа – среда», где под средой подразумеваются условия эксплуатации изделия [8]. Представленная система характеризуется взаимозависимостью указанных факторов, и сведением проектных проблем к комплексу подпроблем, имеющих, в свою очередь, установленную последовательность решений.

Указанная методология делит процесс художественного конструирования на следующие стадии (по Б. Арчеру):

1. планирование;
2. сбор информации;
3. анализ;
4. синтез;
5. разработка проекта в материале (создание опытного образца);
6. суммирование и передача информации о проекте.

Так, стадия планирования заключается в выяснении содержания проектной проблемы. Вторая стадия, сбор информации или составление технического задания, заключается в определении целей и задач, постановке ограничений. На следующей, приводятся первоначальные выводы о возможных способах решения проектной проблемы – их анализ. Аналитический метод здесь, помогает дизайнеру выводить возможные варианты решений и их представлений. Таким образом, собранная информация, с одной стороны, дает картину реалистичного положения вещей, а с другой – обрисовывает идеальную ситуацию, к достижению которой стремится проектирование. При этом, она должна быть приведена в состояние, позволяющее найти оптимальные характеристики нового изделия, определить границы возможностей средств для производства, сбыта и эксплуатации [9].

Так же анализируется природа выявленных взаимосвязей, определяющих производственные факторы. К примеру, если между группами факторов такие связи слабы, проблема делится на подпроблемы. По результатам анализа строится схема. В последующем отбирают одну из наиболее важных подпроблем, разбирая ее более подробным образом. А именно:

1. составляют список факторов проблемы;
2. определяют условия или ограничения;
3. определяют отношение между факторами и целью, условиями и

ограничениями;

4. выясняют факторы, которые могут быть определены проектировщиком, и факторы, определяемые на основе объективных данных.

В результате может быть получен комплекс сведений о характеристиках проектируемого изделия, а также ограничениях, накладываемых сферой производства, сбыта и потребления. Такая спецификация изделия и составляет программу дальнейшей проектной деятельности.

Результатом следующего этапа, синтеза, является формирование основного проектного замысла. Синтез позволяет производить суммирование установленных ранее характеристик, и экспертным путем производить отбор перспективных решений для формирования проектной гипотезы [10]. Данная стадия может быть представлена в виде эскизного проекта, дающего четкое представление о найденном проектном решении.

Далее, на стадии конструирования решается задача детальной конструктивной проработки установленного решения. Здесь дизайнеру необходимо использовать методы сравнения и анализа существующих конструктивных решений, периодически, при том, обращаясь к установленной ранее схеме проектирования. Для проверки и утверждения окончательного конструктивного решения проводят эксперимент. Для этого берут функциональную спецификацию, список целей и список ограничений и формулируют гипотезы по проекту в целом. Так, эксперимент проектируется для каждой отдельной гипотезы, используя опытные или промышленные образцы.

На заключительном этапе происходит оформление проектной документации исполнителем, и ее передача фактическому заказчику. Важно отметить, что для сохранения целостности и обеспечения будущего успеха товара, дизайн-процесс должен включать в себя указанные стадии, составляющие единую систему проектной деятельности.

1.2. Обзор основных методик проектирования обуви

Проектирование в обувной промышленности на сегодняшний день осуществляют как графо-аналитическим способом, так и с использованием специальных компьютерных программ. Выделяют несколько основных методик: копировально-графическая, методика ОДМО и МТИЛП (жесткой оболочки), Тонковида, Апанасенко, Максиной, а так же моделирование по итальянской школе АРС Сутория [11].

Копировально-графическая методика проектирования обуви появилась значительно раньше других и долгое время отвечала потребностям индивидуального пошива. Тем не менее, она не давала точного переноса основных антропометрических данных от стопы к колодке, а от колодки к моделируемому верху обуви, поэтому на смену ей довольно скоро пришли системы проектирования обуви, включающие математические расчеты. Одной из таких систем стала разработанная в 1936 году в ЦНИИ Кожевенно-обувной промышленности (г. Москва) - система моделирования верха обуви, основанная на обобщенных данных массового обмера стоп [12]. Особенность системы состояла в том, что она, в отличие от всех предыдущих, предусматривала создание проекта на основе научного расчета и выражалась в системе нанесения базисных линий, соответствующих анатомическим точкам стопы. К недостаткам методики можно отнести трудоемкую проработку основных конструктивных линий на плоскости, затрудняющую визуальное представление будущей модели. К тому же моделирование по системе ЦНИИКП не учитывает физико-механических особенностей материала.

В конце 60-х годов 19 столетия в международном институте обувной техники и искусств (г. Милан) Адриано Лунати была разработана методика моделирования обуви непосредственно на поверхности колодки с последующим переносом линий на плоскость (методика АРС Сутория) [13]. Таким образом, вспомогательные линии и контуры наносились на колодку,

предварительно обклеенную липкой лентой, что было довольно наглядно. У подобной техники, при том, большое количество недостатков, ведь при переносе линий на плоскость погрешность существенно возрастает, что не допустимо при проектировании именно ортопедической обуви.

Ни одна из вышеописанных методик не учитывает толщину промежуточных и внутренних деталей. Для устранения этого недостатка Ю. П. Зыбиным, В. Л. Раяцкасом, Т. В. Козловой был разработан способ получения развертки боковой поверхности колодки с помощью полимерной пленки, наносимой вакуум-аппаратом (метод МТИЛП). Данный способ предусматривает получение развертки с колодки, к которой прикреплены все промежуточные и внутренние детали: подкладка, межподкладка, задника, подносок и основная стелька. Жесткую оболочку получают из термопластичной пленки из поливинилхлорида толщиной 0,3-0,5 мм с содержанием классификатора на специальном вакуум-аппарате конструкции МТИЛП [14]. Полученная оболочка в итоге полностью соответствует форме и размерам будущей заготовки, к тому же, на неё наносят конструктивные линии и все цветовые градации. Таким образом, получают полноценный макет изделия не прибегая к большому количеству математических расчетов.

Сделав краткий обзор существующих методик проектирования обуви, можно выделить следующие принципы конструирования: в том или ином виде создается макет изделия для оценки художественно-эстетического вида модели ещё до изготовления её в экспериментальном цехе; при проектировании конструктивных линий основные анатомические точки стопы должны быть представлены на чертеже или колодке; необходимо учитывать толщину и физико-механические свойства всех деталей; погрешности должны быть минимизированы.

1.3. Применение информационных технологий в целях автоматизации конструкторско-технологической подготовки производства обуви

С появлением электронно-вычислительных машин закономерным этапом развития проектирования стало внедрение систем автоматизированного проектирования (САПР) [15]. Первыми к автоматизации процессов в легкой промышленности пришли инженеры из США. Они создали автоматизированную раскройную установку «Gerber» для ткани без предварительной разметки.

Большой вклад в автоматизацию обувного производства именно в России внесли научные коллективы Московского Технологического института легкой промышленности. Так, Фукиным В.А. были проработаны вопросы получения рациональной формы колодки на базе антропометрических данных о стопе, а так же созданы математические модели условной средней стопы. На основе проведенных исследований была 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 программным управлением [16]. Манченко С.А. и Никитин А.А. являются авторами алгоритмов проектирования контуров усредненных разверток колодок (УРК) с учетом физико-механических свойств материалов [17]. Глазунова Е. М. же предлагает использовать систему «AutoCAD» для проектирования верха обуви, путем создания дополнительных модулей к программе [18]. В работах Бердниковой И. П. предложены программы и алгоритмы для решения ряда конструкторских задач проектирования обуви в разработанной системе АСКО-2Д [19]. Именно АСКО-2Д является самой востребованной на сегодняшний день САПР, применяемой на предприятиях обувной промышленности, базирующихся в РФ.

1.4. Автоматизация процессов проектирования обуви в среде 2D

Промышленное проектирование по своему определению жестко связано требованиями стандартов, и именно на стадиях плоского черчения. Переход от черчения на бумаге к экрану монитора изначально пошел по пути простого переноса готовых чертежей. Как следствие, первоначальное развитие получили именно системы 2D-проектирования. В России, например, наиболее распространенными системами 2D-проектирования являются: АСКО-2Д, АССОЛЬ-ОБУВЬ и ShoesModel [20].

Первым шагом проектирования в подобных программах является выбор вида модели (обуви), затем проработка дизайна на листе бумаги. После, к выбранному эскизу подбирается колодка. Модельер-конструктор наносит на обклеенную предварительно скотчем колодку вспомогательные линии (методика АРС Сутория). После этого происходит нанесение (простым карандашом) основных конструктивных линий будущей модели обуви непосредственно на скотч. Полученная развертка называется грунд-моделью. Грунд-модель при помощи дигитайзера переносится в среду программного обеспечения методом аппроксимации основных контуров. Данный метод, хотя и охватывает широкий круг конструкторско-проектировочных работ, всё же остаётся по сути копировально-графической системой с частичной автоматизацией. Ведь в итоге, возможности предварительного просмотра модели нет. Именно поэтому большее распространение получили именно системы 3D-проектирования.

1.5. САПР обуви, поддерживающие формат 3D, их возможности и алгоритм функционирования

Опираясь на современные тенденции развития науки и техники, можно с легкостью обнаружить повсеместное присутствие трехмерной компьютерной графики (три измерения изображения). Учитывая современный уровень развития производства, подготовка к

технологическому процессу подразумевает создание 3D моделей изготавливаемых устройств и деталей. 3D-моделирование позволяет видеть будущий объект, его внешний вид и конструктивные особенности еще до момента изготовления, а это в значительной степени способствует как устранению технологических недостатков, так и оптимизации процесса сборки в целом. Таким образом, с середины 90-х годов прошлого века 3D прочно вошло в инженерное проектирование и легкую промышленность.

В таблице 1 представлены наиболее распространенные САПР обувной промышленности, информация о производителе, а также формат который они поддерживают. Из приведенных данных следует, что практически все крупные фирмы производители программного обеспечения помимо двухмерного формата проектирования, используют трехмерный (Atom+Vicom, Olive lince, Clarks, Gerber System, Iselgui, Macis Simens, Microdynamics, Lectra system). А более поздние САПР (Crispin) изначально разрабатывались исключительно для работы в 3D [21].

Таблица 1. Наиболее распространенные САПР обуви и их основные характеристики

Название САПР	Фирма разработчик/ Автор	Страна производитель	Поддержка формата 2D	Поддержка формата 3D
PADSY	Atom+Vicom	Австрия	есть	есть
Ovie lince	Ovie lince	Италия	есть	есть
ShoeMaster	Clarks	Англия	есть	есть
ShoeMaker	Gerber System	США	есть	есть

Продолжение таблицы 1

Shoe Desingner	Iselgui	Италия	есть	есть
Schu CAM	Macis Simens	Германия	есть	есть
FDS	Microdynamic s	США/ Германия	есть	есть
Romans Cad	Lectra systems	Франция	есть	есть
CAD-PAS- CALC- Cobber	Classicad	Чехия	есть	нет
Crispin	Delcam	Англия	нет	есть
АСКО – 2Д	Каган В. М., Бердникова И. П.	Россия	есть	нет
ShoesModel	Разин И. Б.	Россия	есть	нет

Использование формата 3D в системе проектирования обуви, позволяет расширить круг автоматизации конструкторско-технологических работ. На этапе разработки модели, например, появляется возможность рассмотреть её со всех сторон, причем цвет и фактура деталей могут быть перенесены с соответствующих фотографий. Этот шаг позволяет перенести этап художественно-эстетической оценки коллекции на стадию, предшествующую изготовлению опытных образцов, что в свою очередь оптимизирует работу экспериментального цеха предприятия.

Важной особенностью 3D-моделирования также является перевод в единое информационное пространство всех частей модели обуви. Таким образом, используя трехмерное проектирование можно сконструировать

модель обуви, получив при этом её наглядный образ, колодку, которую можно изготовить с помощью станков с числовым программным обеспечением (ЧПУ), детали верха, подкладки, межподкладки. Возможность корректировки так же присутствует на всех стадиях проектирования. Эти плюсы позволяют сделать вывод о перспективности и дальнейшего внедрения и развития трехмерного проектирования на обувном производстве в частности.

Из приведенных выше, наиболее современная на данный момент 3D САПР обуви - это Crispin от компании Delcam. Она предоставляет полный комплект программного обеспечения от проектирования колодок и пресформ подошв до конструкторской проработки деталей верха, с последующим автоматизированным раскроем. Этот комплект программного обеспечения состоит из 9 независимых модулей – по сути отдельных программных продуктов. Но у программы имеется существенный для малых производств недостаток - приобретение всего программного пакета довольно затратно.

Для малых единичных производств 3D-моделирование можно внедрять через общедоступные неспециализированные на обуви программные пакеты, такие как: SolidWorks, Autodesk 3Ds Max, Autodesk Maya, Rhino. Использование таких известных программ неизбежно ведет к увеличению времени, затраченного на моделирование, к тому же, возрастают требования, предъявляемые непосредственно к дизайн-проектировщику и его навыкам.

Алгоритм проектирования в среде САПР в условиях предприятия может быть описан следующими операциями [22]:

1. разработка дизайн-концепта будущей модели;
2. эскизное проектирование;
3. подбор и модификация колодок (в среде программы, часто, из библиотеки);
4. построение развертки и конструкторская проработка модели, добавление технологических припусков, детализовка;

5. проверка укладываемости, экономических показателей будущей модели;
6. вывод шаблонов на принтер или плоттер, формат 2D;
7. изготовление опытного образца в экспериментальном цехе;
8. представление техническому совету предприятия для предварительной оценки;
9. окончательное утверждение модели.

В данной работе более подробно будет описан алгоритм создания 3D-модели именно в программной среде 3Ds Max, для того, чтобы показать возможности данного метода.

1.6. Технологии обратного инжиниринга в сфере трехмерного проектирования

Обратная разработка (обратный инжиниринг, реверс-инжиниринг) — это исследование некоторого устройства или программы, а также документации на него с целью понять принцип его работы; например, чтобы обнаружить скрытые функции, сделать изменение, или воспроизвести устройство, программу или иной объект с аналогичными функциями, но без копирования как такового [23]. Принцип обратного инжиниринг можно описать следующей последовательностью:

1. выбор объекта, на базе которого осуществляется проектирование;
2. считывание геометрической информации об объекте с помощью бесконтактных методов обмера;
3. компьютерная обработка полученных данных, преобразование их в 3D объект;
4. модификация 3D объекта с помощью программного обеспечения;
5. материальное изготовление объекта, по данным трехмерной модели.

Данный метод достаточно легко применяется в процессе проектирования обуви.

Так в роли исходного объекта выступает стопа, геометрическая информация о которой попадает к проектировщику через ряд специализированных устройств сканирования. Наиболее перспективными на сегодняшний день выглядят бесконтактные лазерные устройства для обмера стоп, позволяющие получать информацию в цифровой форме. Полученная информация затем модифицируется в рациональную форму колодки с помощью внутренних алгоритмов программ 3D-моделирования. Получив колодку в компьютерной среде, ее можно модифицировать, используя все инструменты интерфейса программы.

Опираясь на 3D модель колодки, можно проектировать различные модели обуви, используя приемы и методы, применяемые в типовом проектировании. Построение деталей можно вести как в 3D пространстве, так и на плоскости, получив развертку боковой поверхности.

1.7. Бесконтактное трехмерное лазерное сканирование для информационного обеспечения CAD/CAM систем

Лазерное сканирование – это технология, позволяющая создать цифровую трехмерную модель объекта, представив его набором точек с тремя пространственными координатами. Технология основана на использовании приборов - лазерных сканеров, измеряющих координаты точек поверхности объекта со скоростью нескольких тысяч точек в секунду. Погрешность поверхности определяется количеством точек на сантиметр и зависит от модели используемого сканера и сложности геометрической формы самого объекта. Одним из самых перспективных направлений автоматизированного бесконтактного обмера стопы является именно трехмерное лазерное сканирование.

Лазерные сканеры делятся на контактные, бесконтактные, трехмерные камеры и совмещенные.

Для обувной САПР 3D модель сканера должна обладать следующими характеристиками: зона сканирования по габаритам должна соответствовать

максимальному размеру колодки; формат данных вывода - OBJ, STL; точность сканирования не более 0.5 мм погрешности по любой оси;

На основе данных, полученных в результате описанного сканирования, производится модификация формы в среде программного обеспечения для работы с 3D объектами.

Трехмерное проектирование, как было указано раньше, осуществляется с помощью специализированного программного обеспечения. В настоящее время существует большое количество трехмерных редакторов, как общего, так и узкопрофессионального назначения. В таблице 2 приведен краткий обзор самых популярных и доступных редакторов [24].

Таблица 2. Сравнительные характеристики редакторов компьютерной графики

Название программного обеспечения	Разработчик	Стоимость лицензии, тыс. руб.	Поддерживаемая ОС	Особенности
Autodesk Maya	Autodesk	107	Windows, Mac OS X, Linux	Открытая архитектура (легко автоматизировать непрофессиональному программисту)
ZBrush	Pixologic	25	Windows	Имитация процесса «лепки» 3d-скульптуры
Blender	The Blender Foundation	0	Windows, Mac OS X, Linux	Доступность и простота использования

Продолжение таблицы 2

AutoCAD 3D	Autodesk	267	Windows, Mac OS X, iOS, Android	Инструменты полигонального моделирования и возможность двумерной параметризации
Autodesk 3DS MAX	Autodesk	102	Windows, Mac OS X, Linux	Инновационные методы создания и текстурирования моделей
Cinema 4D	MAXON	120	Windows, Mac OS X	Упрощенный интерфейс, и встроенная поддержка русского языка
Rhinoceros 3D	Robert McNeel & Associates	25	Windows, Mac OS X	Специализируется на NURBS моделировании

Сравнив основные показатели программного обеспечения, и учитывая опыт предшествующих разработок, для моделирования пары обуви выбираем программу Autodesk 3Ds Max. Данная программа снабжена мощным инструментарием для работы с разного рода поверхностями: полигонами, неоднородными рациональными сплайнами, и такое разнообразие весьма важно при работе со сложно-пространственной геометрией колодки.

1.8. Обзор аналогов

Производство обуви на сегодняшний день – это одна из наиболее востребованных сфер мирового бизнеса. Ее можно сравнивать с производством продуктов питания, медикаментов, одежды или строительством жилья, именно потому, что сложно представить ситуацию, в которой человек полностью откажется от покупки обуви. Более того, среднестатистический потребитель покупает отдельные пары обуви именно под нужный комплект одежды, в зависимости от сезона и т.д.

Таким образом, с ростом требований к внешнему виду обувных изделий, перед компаниями-производителями встает целый ряд проектных задач. К работе привлекаются целые группы дизайнеров, модельеров, и даже архитекторов. И конечно же, с ростом конкуренции, все чаще встречаются модели обуви, ее узлы и детали, изготовленные с применением инновационных технологий. Развитие инновационного направления проектирования обеспечивает производство как креативной, так и модельной, спортивной обуви, а так же изделий ортопедического назначения. Что более важно, это позволяет индивидуализировать конечный продукт. Новые технологии позволяют без серьёзных финансовых и временных затрат создавать обувь индивидуально под каждого носящего, расширяя его потенциал и улучшая показатели комфорта. Таким образом, «индустриальный сдвиг», знаменующий переход от массового производства к индивидуальному, обладающему большей гибкостью и низкой долей труда, уже начался.

Для разработки успешной дизайн-концепции, на первых стадиях проектирования, важно иметь представление не только о технологических новшествах, вводимых конкурирующими компаниями, но и о внешнем виде, популярности и актуальности предлагаемой на международном рынке продукции.

Примером явной индивидуализации может выступать модель «XYZ» Эрла Стюарта (рис. 1), которая создается только после детального 3D-сканирования стопы заказчика. Важно отметить, что виртуальная модель состоит из нескольких частей, обладающих различными характеристиками в зависимости от анатомических особенностей стопы и самой динамики движения. Так, в готовом напечатанном изделии носочная часть будет уплотнена за счет введения пластиковых включений, а часть, прилегающая к лодыжке, наоборот, обладать повышенными характеристиками гибкости и податливости. Подошва также состоит из дискретных частей, которые сливаются воедино, благодаря способности новейшего оборудования производить одновременную печать несколькими материалами [25].



Рисунок 1. Индивидуализированные туфли «XYZ». Дизайн – Э. Стюарт

Компания Recreus (Испания) пошла другим путем, занимаясь продажей материалов для 3D-печати, они предлагают скачать модель беговых кроссовок прямо с официального сайта компании, и распечатать ее в домашних условиях [26]. Стандартная модель кроссовок Recreus представлена на рисунке 2.



Рисунок 2. Эластичные беговые кроссовки Recreus

У упомянутой модели есть и недостатки. Основной – это внешний вид изделия. Расположенная по всей длине стопы шнуровка создает впечатление ненадежности обуви, делая ее как бы «игрушечной». К тому же, производителем никак не учтены индивидуальные особенности стопы, и стелька не имеет геленок, что может пагубно отразиться на здоровье носящего.

Стоит отметить, что идея свободного доступа к моделям достаточно перспективна. В тот момент, когда высокоточный 3D-принтер сможет позволить себе подавляющее большинство покупателей (как, например, ПК), а сами они будут способны использовать широкий спектр материалов, качественно изменится не только процесс производства, но и формат потребления, как это предлагает Recreus — любой продукт можно будет скачать из интернет-магазина, и распечатать на принтере не выходя из дома. Покупатель в таком случае сам станет производителем. Важно, что материал, производимый компанией Recreus – Filaflex – полностью разлагаем. То есть, в перспективе, надоевшую или сносившуюся модель можно будет переработать и загрузить обратно в принтер, получив материал для обновления гардероба. С развитием подобного подхода, в очередной раз активизируется и правовой вопрос, связанный с распространением интеллектуальной собственности во всемирной сети, другими словами, 3D-

пиратство станет актуальной проблемой, с которой производителям придется бороться.

Заглядывая в не такое далекое будущее, стоит отметить проект на соискание степени магистра в Центральном колледже искусства и дизайна имени Святого Мартина (г. Лондон) студента Шамис Аден. Она, совместно с учеными Университета Южной Дании, разработала так называемую «самовосстанавливающуюся» обувь (рис. 3). Таким образом была получена синтетическая био-материя из протоклеток. Эффект для потребителя заключается в том, что протоклетки «синхронизируются» с ногой, и, поскольку данная технология реагирует на воздействие, то конфигурацию модели можно менять. Она мгновенно «отвечает» действиям носящего и повышает поддержку в местах, на которые возлагается самая большая нагрузка [27]. Такая обувь способна самовосстанавливаться за ночь. Протоклетки будут способны самостоятельно восстанавливать повреждения, полученные при носке, если их поместить в емкость, наполненную субстанцией из примитивных клеток. Различные цвета жидкости могут быть использованы, чтобы менять окраску модели. Благодаря такому свойству к регенерации, обувь станет практически вечной. По словам дизайнера, результаты исследования могут воплотиться уже к 2050 году.

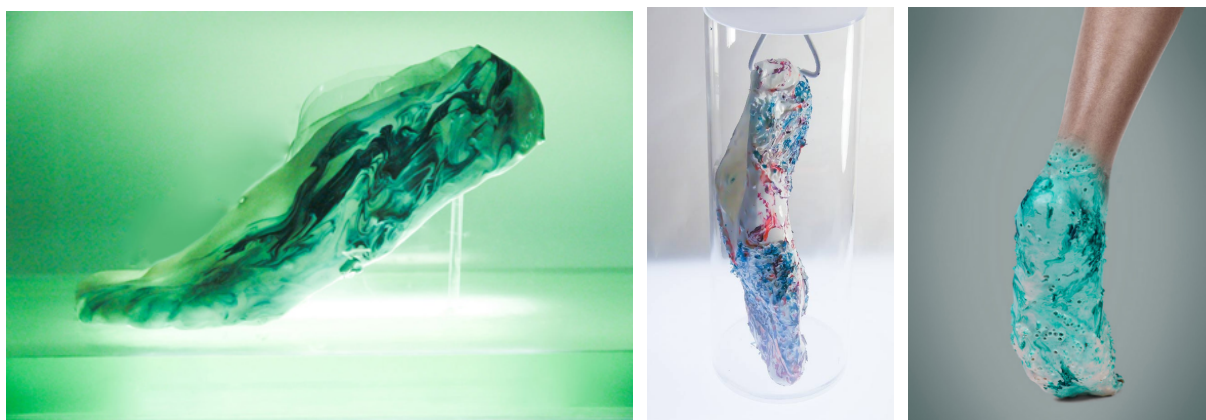


Рисунок 3. Проект Ш. Аден. Обувь из регенерирующих клеток

На сегодняшний же день существует ряд разработок, связанных именно с усовершенствованиями внутренних стелек. Так, известная компания-производитель спортивной обуви и аксессуаров Adidas (Германия)

запустила линейку стелек «с памятью» fitFOAM. Используя эластичный и гипоаллергенный материал EVA, они добились индивидуализации за счет «запоминания» материалом особенностей и характеристик стопы носящего. При этом изделие поддерживает продольный свод стопы и защищает от ударных нагрузок при ходьбе, а значит, защищает и суставы ног, и позвоночник (рис. 4) [28].



Рисунок 4. Стельки fitFOAM компании Adidas

А вот компания Moticon (Германия) пошла другим путем. Ее технология OpenGo Insoles предполагает реабилитационные стельки, оснащенные тринадцатью датчиками, призванными собирать информацию с соответствующих зон стопы и выводить температуру тела ног. Благодаря такой разработке пациент будет моментально осведомлен о распределении веса, посадке и прочих показателях здоровья стопы [29].

Существенным недостатком подобной конструкции является использование батареек, которые, по заявлению автора, могут выдерживать работу лишь в течении двадцати четырех часов. Таким образом, их придется регулярно заменять, а это существенно усложняет эксплуатацию и повышает затраты на обслуживание. К тому же, разработка видится пригодной лишь применением ее в диагностике, но не при повседневной носке.

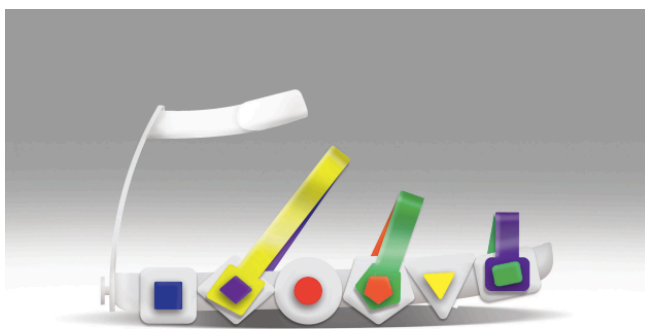


Рисунок 5. Концепт дизайнера Муан Он-Сри (победитель в детской категории награды PENSOLE «Будущее обувной промышленности», США, 2013 г.)

Персонализация через применение методов комбинаторного дизайна – еще один прием разработчиков и производителей. Примером может служить конкурсная работа молодого американского дизайнера Муан Он-Сри. Ее проект PLAYSHUZ - это пример не только рационального подхода с точки зрения материалов и производственных затрат, но и применение «игры» как образующего элемента. Так, меняется само отношение ребенка к обувной паре, рождая интерес и провоцируя спрос. Дизайнер также отмечает важность интегрирования различных простых геометрических форм (квадрат, треугольник и окружность, как базовые элементы) и основных цветов (красный, синий, желтый и зеленый, как добавочный) для дальнейшего их сопоставления (принцип многих развивающих игр), что по ее мнению, должно помочь детям в адаптации (чтение дорожных знаков и светофора) [30].

Помимо указанного, известны примеры персонализации изделий обувной промышленности встраиванием в них дисплеев с настраиваемыми пользовательскими изображениями (SwiftWear, 2015) и синхронизацией с гаджетами (Digitsole, Ni-Ling совместно с Xiaomi, Wishills со встроенной системой внутренней навигации). В том же 2015 году компания Nike (США) анонсировала кроссовки Zoom Soldier 8, оснащенные системой «умной» фиксации Flyease и предназначенной для людей с ограниченными возможностями [31]. Таким образом, современный рынок услуг все больше подстраивается под индивидуальные нужды потребителей, и перестраивает свое производство, используя новейшие достижения техники.



Рисунок 6. Кроссовки Nike Zoom Soldier 8 с технологией самофиксации и Леброн Джеймс (справа) – один из известных инициаторов проекта

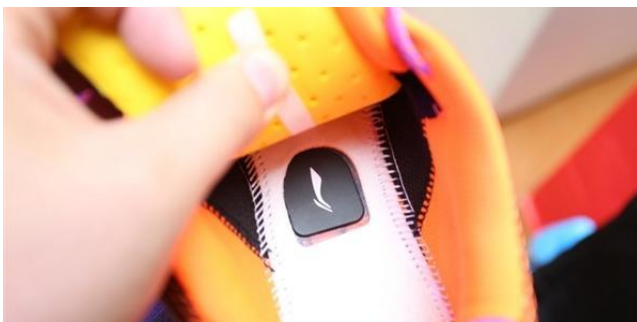


Рисунок 7. Модель Digitsole компании Xiaomi, Китай, 2015 г.



Рисунок 8. Концепт стартап-компании SwiftWear, 2015 г.

1.9. Анализ возможностей сбыта продукции

Исходя из гипотезы исследования, показатели лечения деформаций значительно ниже, чем их профилактики. Так, взрослому организму, в

среднем, требуется до четырех лет [32]. При этом, профилактика, начатая в младшем возрасте, в период формирования и активного роста стопы, является крайне эффективным нехирургическим средством предотвращения деформаций. Оптимальный возраст потребителя был установлен с помощью социологического опроса, в котором приняли участие 87 респондентов, являющихся родителями детей предпочтительно младшего возраста и обращавшиеся во ФГУП «Томское протезно-ортопедическое предприятие». Согласно опросу, 15 % составили дети в возрасте до трех лет, 20 % - старше двенадцати лет, 65 % - в возрасте от трех до двенадцати лет. Так же было выявлено, что обувную продукцию приобретают не чаще 3-4 раз в год, что соответствует погодным сезонам (рис. 9).

Опрос включал выявление потребительских предпочтений, а именно, областей, к которым дети проявляют наибольший интерес. Так, наибольший интерес наблюдается к творческим занятиям, включающим рисование, лепку и конструирование (75 %) (рис. 10). Подобные данные необходимы для учета в процессе проектирование, особенно, при разработке дизайн-концепции и художественного решения.

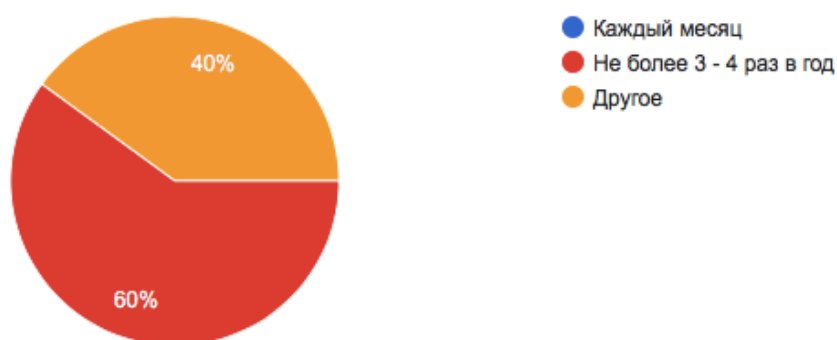


Рисунок 9. Показатели потребления (60 % - в соответствии с погодными сезонами, 40 % - один раз в год, либо чаще четырех)

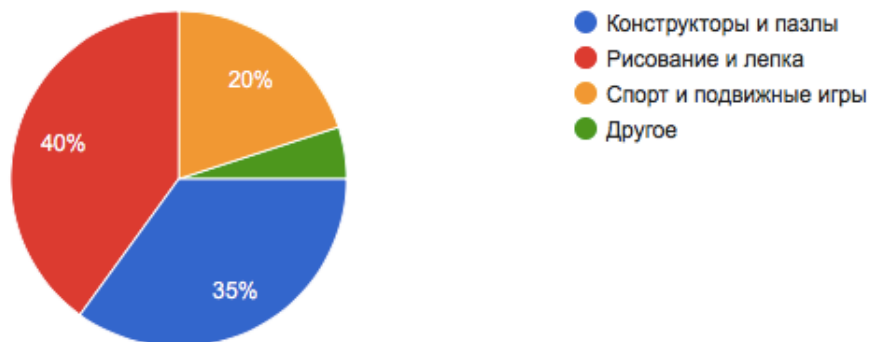


Рисунок 10. Потребительские предпочтения (40 % - рисование и лепка (творческая деятельность), 35 % - конструкторы и пазлы, 20 % - спорт и подвижные игры, 5 % - компьютерные игры и чтение)

Респонденты также отметили качество уже существующей ортопедической продукции (рис. 11). Так, большинство находит соответствие качества, внешнего вида и стоимости положительными, при том, отмечая, превалирование на рынке товаров импорта. Эти же данные подтверждает и официальная статистика, согласно которой доля импорта на рынке детских ортопедических товаров составляет 85-90 % [33]. К тому же установлено, что вопросами обеспечения занимаются государственные структуры – протезно-ортопедические предприятия и федеральные государственные унитарные предприятия, а доля частных коммерческих организаций не превышает 13 % [34]. Стоит отметить, что в рамках большинства государственных структур, модельный ряд детской ортопедической обуви не обновлялся на протяжении 10-20 лет [35].

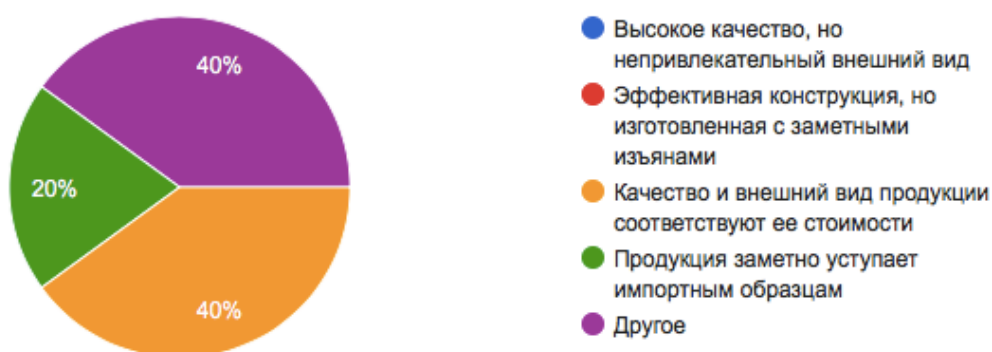


Рисунок 11. Характеристика продукции (40 % - другое (качество соответствует внешнему виду, продукция слишком дорогая), 40 % - качество

и внешний вид продукции соответствуют ее стоимости, 20 % -продукция заметно уступает импортным образцам)

В связи с установленными данными, для участников опроса были приведены данные периода био-диссоциации стандартных обувных изделий, с целью выяснить готовность потребителей к внедрению инновационных технологий и материалов в процесс производства вещей повседневного спроса, а также общую осведомленность экологической ситуацией.



Рисунок 12. Результаты опроса (65 % выражают согласие на ориентированность промышленной индустрии на более высокие стандарты производства, пока это не приводит к повышению цены продукции), 15 % полностью поддерживают инновации)

Результаты опроса учтены при составлении логической схемы исследования, а также являются основой для построения дальнейших этапов дизайн-проектирования.

2. Разработка художественно-конструкторского решения

2.1. Разработка дизайн-концепции

Обозначение концепции изделия необходимо для уточнения его формы, к тому же, именно на этом этапе закладывается дальнейшая конкурентоспособность продукции. Учитывая область интересов целевой аудитории, за основу была выбрана серия детских наборов для сборки и моделирования компании LEGO. Именно эти конструкторы, состоящие из унифицированных деталей (разъемных и взаимозаменяемых) призваны способствовать развитию детского мышления и воображения, и являются самыми узнаваемыми на рынке товаров.

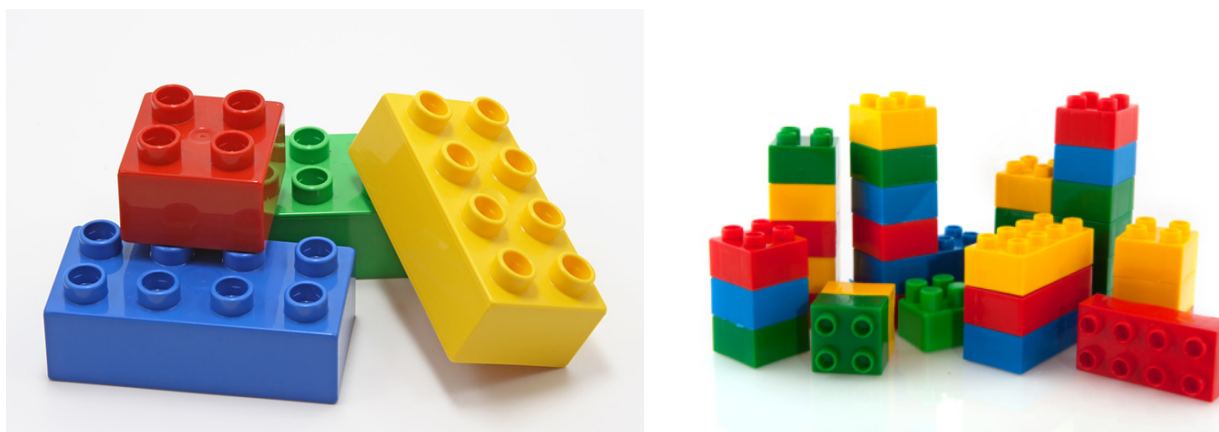


Рисунок 13. Конструктор LEGO, LEGO Group, Дания

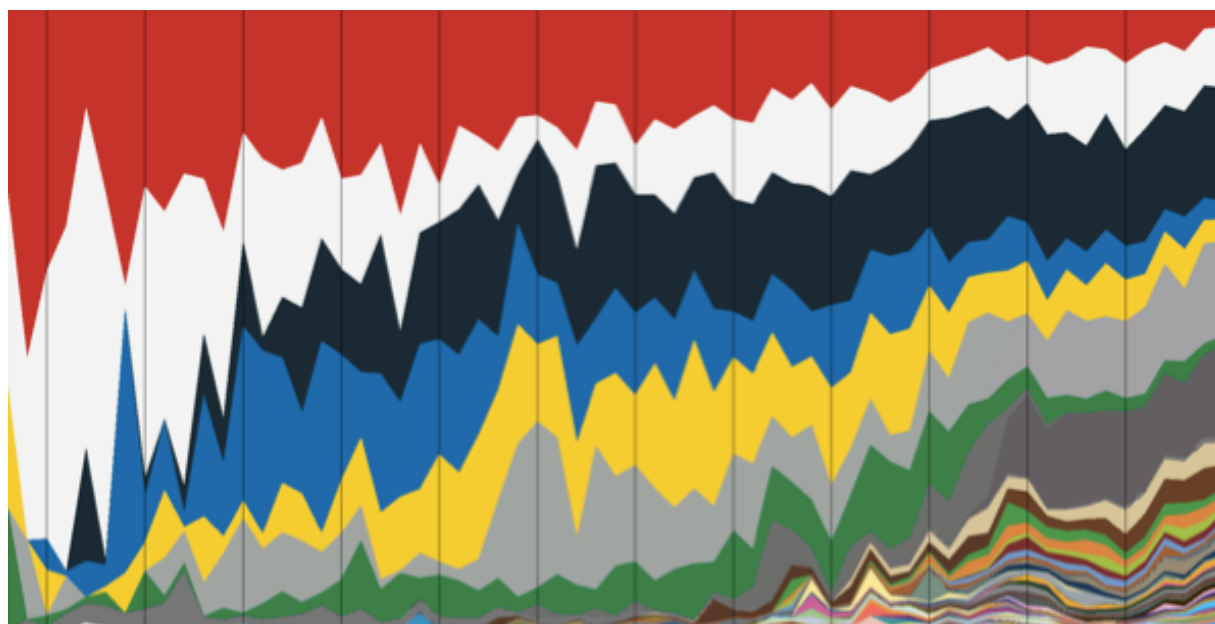


Рисунок 14. Динамика колористических предпочтений (LEGO, 1953-2015)

По официальным данным компании, за 62 года статистики самыми популярными остаются 3 основных (красный, синий, желтый) и добавочный зеленый цвет. А также ахроматические – черный, белый и серые. Популярность эта в первую очередь обоснована универсальностью и простотой цветов; дети подсознательно выбирают их, соотнося с цветами окружающего мира. Таким образом, для обувной пары были выбраны 4 основных цвета (рисунок 15).



Рисунок 15. Цветовая палитра (слева направо): PANTONE 7455 C, PANTONE 7593 C, PANTONE 7737 C, PANTONE 100 C.

На начальном этапе так же был осуществлен поиск проектного решения и его эскизная проработка (рис. 16). Так, первоначальная конструкция предполагает наличие отверстий, съемных частей и обязательных ортопедических элементов (геленок, каблук, фиксатор пяточной части).



Рисунок 16. Утвержденный эскизный проект

2.2. Конструирование формы

Первостепенной для обуви всегда остается защитная функция. Более точно, обувь рассматривают, как укрывающее средство для ступни. Основываясь на этом, дизайнеры-проектировщики непременно имеют тенденцию утяжелять модели, отягощая их, помимо всего прочего, подошвой или стелькой со средствами повышения амортизации. Средства для увеличения степени амортизации внедряют, конечно, неспроста, они крайне полезны для смягчения реакции сил, возникающих при столкновении пяточной части ступни с землей и воздействующих на голеностопный сустав и голень. Несмотря на это, увеличенный вес обуви отбирает большее количество энергии у носящего, поэтому обувь, не предназначенную для повышенных нагрузок, не целесообразно перегружать дополнительными элементами.

Конструкция, надетая на ногу, в любом случае ограничивает ее естественное движение. Например, угол поворота плюсневого межфалангового сустава (угол между землей и плюсневыми фалангами) значительно уменьшается при надетой обуви. То есть при беге босиком он близок к 60° , а использование обуви снижает его до 35° [36]. Мышцы голени и стопы также не имеют возможности действовать в их полную силу, и, поэтому, если обувь сконструирована неправильно, она будет не только ограничивать способность человека двигаться эффективно, но и может стать причиной тяжелых травм и деформаций.

Как указано выше, более тяжелые конструкции отбирают значительное количество энергии при активной носке, ведь из-за амортизации, повышенной массы и отдаленности точки приложения силы тяжести возникает противодействующий крутящий момент, который негативно воздействует на стопу, при изгибе позвоночника. При беге, например, придется затрачивать дополнительную энергию именно на преодоление этого противодействующего крутящего момента. Тем не менее,

в стремлении к повышению легкости всей конструкции, не стоит забывать об обеспечении достаточной опоры и учете основных биометрических аспектов. Отсюда - уменьшение веса полуботинка может быть достигнуто посредством минимизации размеров верха и незначительных конструктивных изменений подошвы.

На рисунке 9 показаны кости правой стопы с медиальной (внутренней) стороны первой плюсневой фаланги 6, пятки 3, пяточного бугра 2 и большого бугра 1. На рисунке 17 показана правая стопа человека снизу. Позицией 8 обозначены кости лодыжки, позицией 9 - ладьевидная кость, а позициями 10, 11 и 12 три клиновидные кости, т.е. медиальная, промежуточная и латеральная клиновидные кости, соответственно. Линия 19 представляет линию сгиба в стопе человека между кубовидной костью 18, с одной стороны, и латеральной клиновидной костью 12 и ладьевидной костью 9, с другой стороны. Стопа может сгибаться вдоль этой линии сгиба, что означает, что если ее сгибают вдоль продольной оси, проходящей между четвертой плюсневой фалангой 14 и третьей плюсневой фалангой 15, то три наиболее медиальных фаланги 15, 16, 17 будут сгибаться в одну сторону, а две наиболее латеральных фаланги 13, 14 будут сгибаться в другую сторону. Признание этой линии сгиба путем обеспечения возможности сгиба подошвы вдоль этой оси, обеспечивают возможность мышцам поворачиваться наружу и внутрь, и быстрее компенсироваться после удара пятки о землю. Таким образом, в случае слишком большого поворота внутрь, т.е. в случае, когда свод стопы перемещают в медиальную сторону, мышцы сгибателя большого пальца стопы для поворота наружу противодействуют реакцией подошвенного изгиба на медиальной стороне стопы. Противодействие будет более быстрым при использовании подошвы, содержащей изогнутую канавку сгиба, так как мышцы сгибателя большого пальца стопы не должны «поднимать» всю подошву, а только ее часть, а именно: часть, расположенную с внутренней боковой стороны изогнутой

канавки сгиба, т.е. часть, содержащую первую, вторую и третью плюсневые фаланги [37].

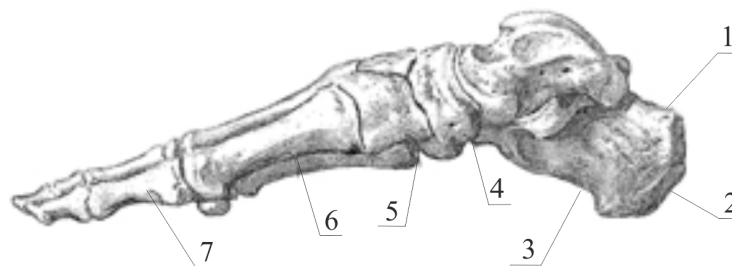


Рисунок 17. Кости правой стопы человека, вид сбоку

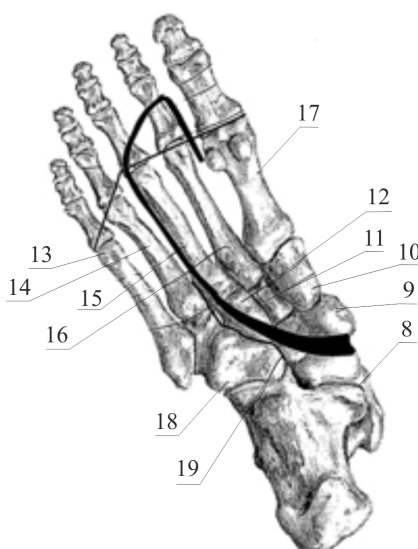


Рисунок 18. Кости правой стопы человека, вид снизу

Идеальная точка касания земли А показана в нижней области пяточной части на рисунке 18. Эта точка является оптимальной точкой приземления, и располагается непосредственно под пяткой с небольшим смещением к палевой стороне. На практике, однако, добиться этой оптимальной точки приземления невозможно. Обычно касание земли происходит где-то вдоль линии В. Точка приземления во многом зависит от индивидуальных особенностей, и ее положение может даже отличаться у правой и у левой стоп. Однако приближение этой точки к точке А приводит в результате к улучшенной затрате силы и энергии. Для приближения точки реального приземления как можно ближе к точке А, были предприняты некоторые меры в создании конструкции. Во-первых, высота пяточной части была несколько уменьшена. В предпочтительном варианте осуществления

конструкции максимальная высота, или толщина, подложки в нижней области пяточной части должна составлять от 8 мм до 12 мм. Вторая мера, предпринятая для приближения точки приземления к точке А, заключается в самом рисунке подошвы, то есть ограничением выступающей части именно в месте контакта. Таким образом, точка реального касания С оказывается приблизительно между А и В.

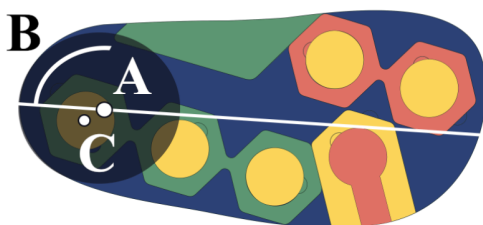


Рисунок 19. Расположение точек касания в соответствии с рисунком подошвы

На рисунке 19 показан вариант осуществления боковой части кроссовки и ее вид сверху. Видно, что пяточный конец проходит вертикально к верхней точке в центре, соответствующей пяточному бугру. Верхняя пяточная часть, таким образом, проходит к месту крепления ахиллова сухожилия к пяточному отростку, а верхняя пяточная часть по существу покрывает пяточный бугор с медиальной и латеральной сторон. С полевой стороны боковой части необходимы меры по компенсации действия проксимальной головки пятой плюсневой фаланги, которая образует выступ или местную крайнюю точку стопы, также известную как бугристость кости. Для исключения нежелательного трения и для обеспечения возможности свободного смещения головки и сустава, создано отверстие, или окно. Таким образом, в этой области подложки из нее удален материал подошвы.

Анализируя форму и конструкцию, важно отметить, что все основные размеры, были определены согласно ГОСТ 19116-05 и ГОСТ 3927-88 для произвольных полноты и размера обувной колодки. С развитием производства, планируется также разработка универсальных методик построения размеров под индивидуальные нужды покупателей.

2.3. Методы комбинаторного формообразования

Методы комбинаторного формообразования - это методы создания новых форм, обусловленные, в первую очередь, образно-ассоциативным мышлением проектировщика, и реализующиеся путем введения членений, проектирования вставок, перестановки деталей и унифицированных элементов. Комбинаторика представляет собой различное варьирование, компоновку, комбинирование составных частей. Комбинации неограниченного числа различных и уникальных исходных элементов или набор повторяющихся унифицированных составных частей направлены на получение искомого (наилучшего) решения материального объекта или объектов [38].

При организации комбинаторных систем, наиболее трудным является обеспечение единства формы, отвечающей функциональным, конструктивным, и эстетическим требованиям. Так, декоративный комбинаторный элемент, имеющий прямолинейные контуры геометрических фигур, наиболее продуктивный в организации комбинаторных систем, должен быть включен в любую структуру и являться частью композиции [39]. Такая система организации формы позволяет осуществить смену или замену отдельных элементов и узлов без поправок в технологическом процессе производства [40]. Основными приемами комбинаторного формообразования являются: создание орнаментальных композиций путем комбинирования элементов; модульное проектирование, где типизированные стандартные элементы составляют целостную объемно-пространственную форму; комбинирование деталей, пропорциональных членений внутри формы.

Трансформация – это метод комбинаторного формообразования, предполагающий создание объекта с подвижной материальной структурой, позволяющей осуществлять превращение в другой объект или изменять его свойства. Как и комбинаторика, трансформация (от лат. *transformatio* -

превращение) в проектировании обуви может рассматриваться по отношению к форме изделия, конструкции и функциональности, а также к стилевому решению [41]. Все многообразие предлагаемых решений трансформируемых изделий может быть разделено на две группы: трансформация одной формы в другую (например, изменение высоты подъема, формы носочной части); трансформация деталей внутри одной формы (например, сгибание, закручивание декоративных элементов) [42]. Таким образом, небольшим количеством трансформируемых изделий можно создавать широкий (комплексный) модельный ряд. Обувная продукция, наряду с другими, постоянно находятся в процессе изменения, становится многофункциональной, универсальной, видоизменяемой. Это обуславливает проектирование изделий, характеризующихся многовариантностью, и позволяет экономить средства потребителя, к тому же продлевает срок эксплуатации (за счет увеличения числа возможных применений в различных условиях).

Одной из форм трансформации, обеспечивающей общую динамику, а также декоративный внешний облик является кинетизм. Кинетическое искусство появилось в 1920–30-х гг. Его основоположниками считаются В.Е. Татлин и А. Колдер. Значительное влияние так же оказали эстетика Баухауса, модерна и русского конструктивизма [43]. Особенность кинетического проектирования заключается в том, что объекты используют движение как основной формообразующий фактор и средство художественной выразительности. Так, образ формируется в процессе движения и изменяется во времени. Основными приемами образования кинетической формы являются трансформация и многообразность (полиэikonия). В художественном проектировании это выражается в функциональной неизменности объекта при возможном удалении или перемещении мобильного элемента. По ситуации, когда при изменении мобильного элемента меняется тип изделия, то речь идет о трансформируемой форме.

Движение, на основе которого ведется построение кинетической структуры, может быть действительным и кажущимся. Так, разработаны многочисленные способы создания оптических иллюзий на основе динамической зависимости различных систем геометрического характера. При этом оптические иллюзии могут создаваться за счет линий членения конструкции изделия, за счет рисунка и фактуры материала и т.д. В области обувной промышленности проектировщики сталкиваются с огромным количеством индивидуальных особенностей и дефектов нижних конечностей. Таким образом, знания об оптических иллюзиях при использовании кинетизма, несут в себе не только эстетический, но и функциональный смысл [44].

Повышения эффективности проектирования можно добиться посредством использования приемов математической комбинаторики для нахождения числа возможных вариантов разнообразных форм и определении количества связей между частями форм линейных и одномерных. Так, перестановки с унифицированными типозэлементами – это комбинации, которые можно составить из n объектов, и порядок которых можно изменить различными способами:

$$P_n = n! \quad (1),$$

где n – количество элементов. Например, перестановок из пяти овальных элементов подошвы может быть сто двадцать: $5! = 120$.

Размещения – это предметы, равные по количеству, но отличающиеся по качеству, порядку и очередности. Размещениями обозначается упорядоченный набор из n различных предметов из некоторого множества различных m элементов, различающихся либо порядком объекта или самими объектами:

$$A_n^m = \frac{n!}{(n-m)!} \quad (2)$$

Согласно формуле (2), число размещений, которые содержат по три предмета из 2 элементов, составляют 6 соединений (для пятиугольников).

Сочетанием из n по m в комбинаторике называется набор m элементов, выбранных из данного множества, содержащего различных элементов. Наборы, отличающиеся только порядком следования элементов (но не составом), считаются одинаковыми. Этим сочетания отличаются от размещений. Очередность элементов в одном сочетании не учитывается.

$$C_n^m = \frac{n!}{m!(n-m)!} \quad (3)$$

Таким образом, среди комбинаторных операций перестановки являются наиболее многочисленными соединениями [45].

Модульное проектирование в дизайне – это перспективный метод, который позволяет преобразовывать форму объектов посредством комбинаторного поиска унифицированных структурных элементов, что предусматривает конструктивную, технологическую и функциональную завершенность. Возможность замены модульных элементов и универсальность конструкций обеспечивают высокую экономическую эффективность. Использование комбинаторного модуля позволяет достичь целостности и гармонии в изделии [46].



Рисунок 20. Конструкция обувной пары, построенная на методах комбинаторного формообразования (унифицированный элемент – пятиугольник).

2.4. Выбор материалов

Для обеспечения первостепенной, защитной, функции, на протяжении многих веков материалы для изготовления элементов обуви комбинировали, улучшали и изменяли. Несмотря на множество особенностей, связанных с широкой дифференциацией обувных изделий, базовым принципом для выбора материала является его износостойкость. Простейшая зависимость устанавливает, что износостойкость материала прямо пропорциональна его плотности, а следственно и качеству. Установлено, что минимальная плотность материала для активной носки должна превышать показатель в 1 единицу ($\text{кг}/\text{м}^3$).

Специалисты выделяют три основных группы материалов, соответствующих установленным параметрам: полиуретаны, кожу и вулканизированную резину. Но, помимо плотности, материал должен обладать и такими показателями как износостойкость, податливость, влагостойкость и изоляционные показатели. Указанному, из группы материалов, отвечает лишь подгруппа полиуретанов. Одним из ее составляющих является материал ЭВА – композитный полимер (вспененный этиленвинилацетат). Это современный, легкий, экологичный и гипоаллергенный материал, изделия из которого обладают высокой абсорбирующей способностью, к тому же, высокой степенью амортизации. Несмотря на это, ЭВА биологически нелегко расщепляем (по OECD-критериям) и способствует образованию двуокиси углерода, что, как известно, способствует созданию парникового эффекта [47].

Чтобы избежать пагубных воздействий влияния как промышленного образца, та и его прототипа на биосферу, производство должно быть ориентированно исключительно на обеспечение ресурсоэффективности и полной биоразлагаемости.

На момент проведения исследования, результаты работы специалистов в области создания возобновляемых материалов на

биологической основе в качестве исходных сырьевых, проявляют устойчивую положительную тенденцию. Одной из наиболее перспективных по отчетам CPI (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 и полиэфир полиолами создает на 36% меньше выбросов, способствующих глобальному потеплению, использует на 61% меньше не возобновляемой энергии, и требует на 23% меньших затрат энергии в целом [48]. К тому же, NOP обладают высокими показателями пластичности, что делает их подходящим материалом для изготовления обувной пары.

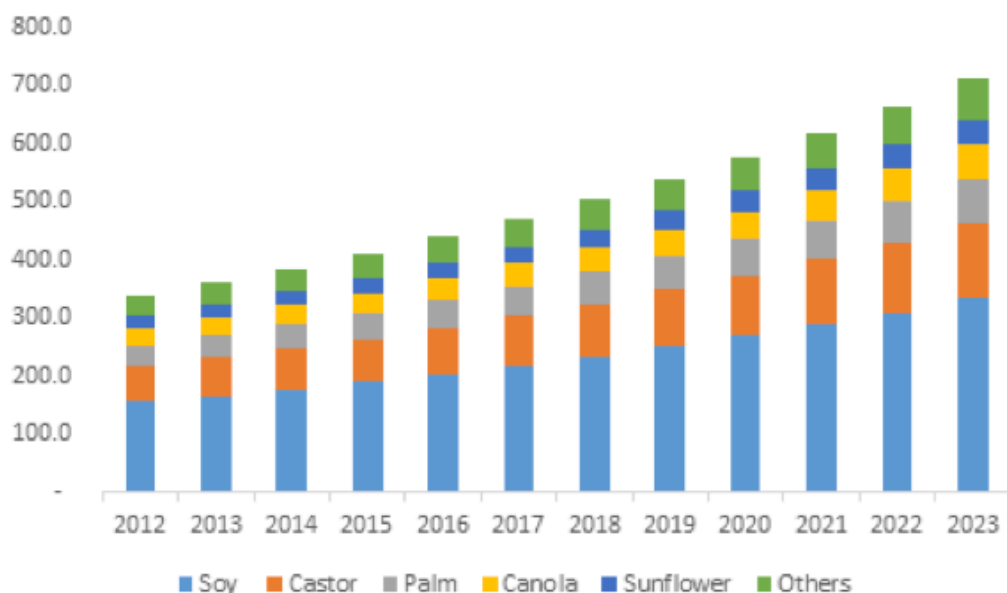


Рисунок 21. Прогноз развития мирового рынка NOP (2012 – 2023 гг., кт)

2.5. Процесс создания 3D-модели

Для осуществления проекта в рамках научно-исследовательской работы были выбраны два подходящих программных продукта: 3Ds Max компании Autodesk, и Rhinoceros 3D, Robert McNeel & Associates. Таким

образом, чтобы получить соответствующую модель корректного построения, начальное проектирование производилось последовательно в обеих средах. Так, в 3Ds Max проектирование модели начинается с создания контура подошвы на плоскости XY, согласно чертежу, используя последовательность команд Create-Shapes-Line (в разделе «Creation method» установить параметр «Smooth»). Полученные сплайны затем объединяются командой «Attach». После чего, объект конвертируется в полигон опцией «Convert to editable poly», и в меню редактирования, устанавливается толщина каждого элемента.

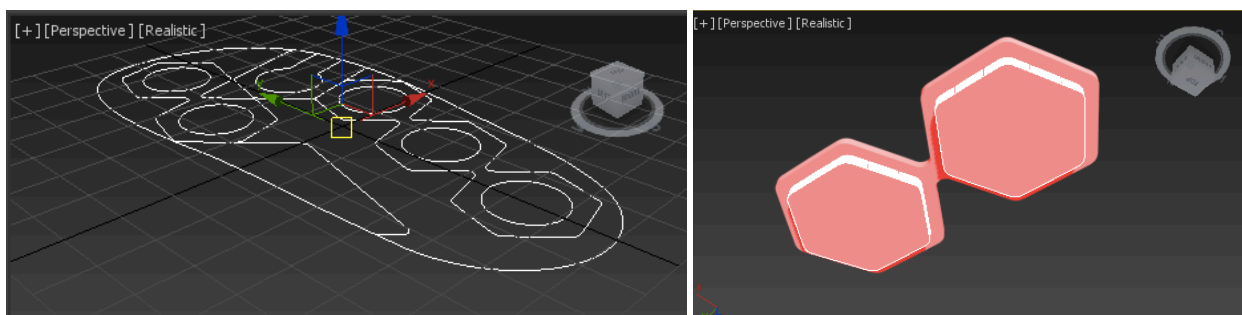


Рисунок 22. Элементы подошвы

Затем, на готовой поверхности подложки, создают соответственно сплайны, согласно установленному эскизу, и вытягивают (командой «Extrude») в соответствии с рисунком отпечатка (3 уровня: 7 мм, 5 мм и 3 мм). Боковая поверхность, в свою очередь, создается в два этапа:

1. Перенос выкроек и их деформация по форме стопы;
2. Создание контуров-сплайнов на основе выкроек с чертежа.

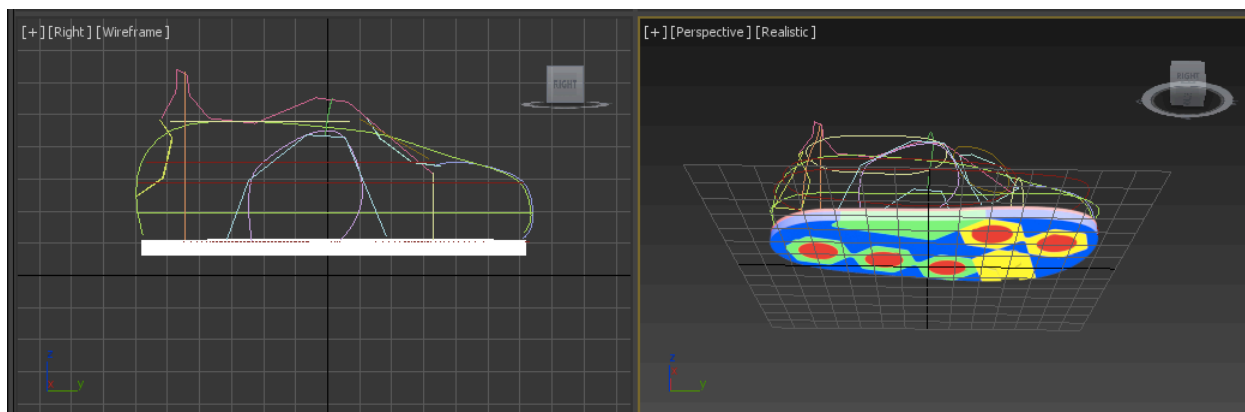


Рисунок 23. Первый этап создания боковой поверхности

Таким образом, после того, как каркас будущей поверхности готов и представляет собой цельный объект (это осуществляется тщательным

построением по точкам, с применением к ним в отдельности функций «Fuse» и «Weld»), к нему необходимо применить модификатор «Surface», а затем «Shell», для придания толщины, а именно 3,5 мм. Ортопедическая стелька с геленком создается аналогичным методом, но, на заключительном этапе, к ней необходимо дополнительно применить модификатор «Turbo smooth», ведь ее конструкция не допускает наличия острых краев. Стоит отметить, что усредненная толщина стельки лежит в диапазоне от 5 до 8 мм.

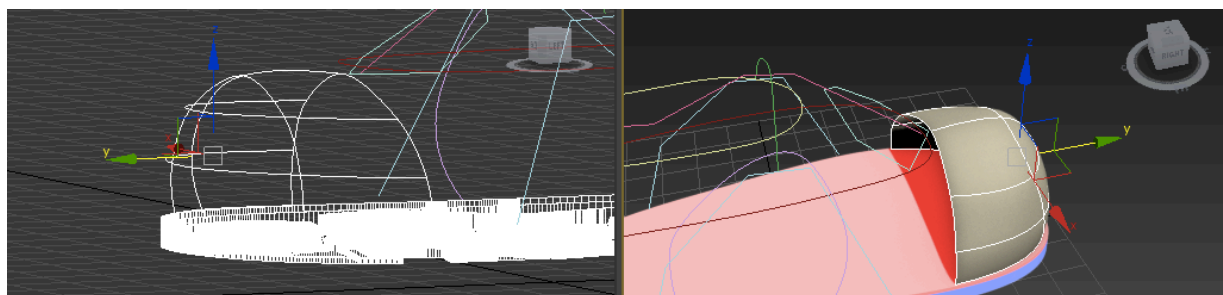


Рисунок 24. Моделирование поверхности носочной части

Так как оригинальная конструкция подразумевает утолщения формы в пяточной, передней и, частично, в боковых частях кроссовки, они выполняются отдельно. Моделирование происходит сплайнами и модификаторами «Surface» и «Shell». Полученный вид модели (рисунок 25) может быть корректирован и настроен, в соответствии с индивидуальными особенностями стопы заказчика. При том, некоторые элементы верха при построении сплайнами в 3Ds Max имеют некорректное отображение. В связи с этим, проектирование верхней части в дальнейшем велось в среде Rhinoceros 3D.

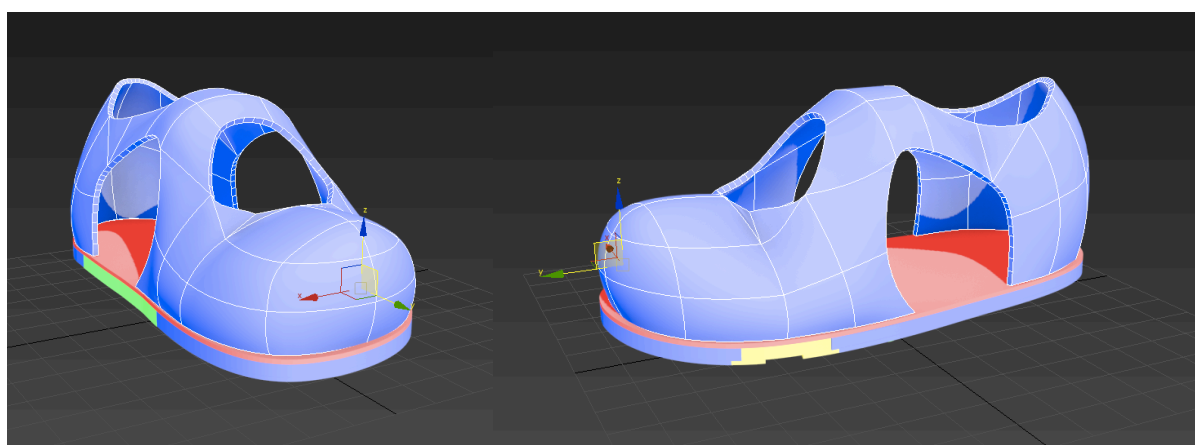


Рисунок 25. Вид модели в 3Ds Max

Rhinoseros 3D позволяет проектировать твердотельные элементы, а главное, все соединения возможно выполнить с самой высокой точностью, определяя и закрепляя связи между всеми элементами объекта. На рисунке 19 представлен окончательный, дополненный, вид модели, подготовленный для дальнейшей печати.

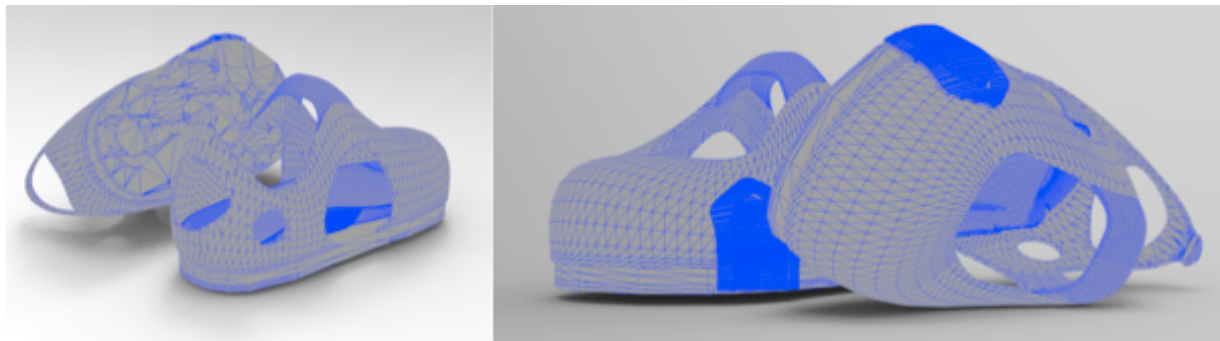


Рисунок 26. Вид модели в Rhinoseros 3D



Рисунок 27. Фотореалистичные изображения

Для обеспечения условия индивидуализации производства, параметры модели необходимо настроить, а именно установить зависимость соотношений между размерными элементами. Параметризация, в этом случае, позволяет автоматизировать процесс перестроения модели в соответствии с индивидуальными требованиями, предъявляемыми заказчиками. Подобным функционалом, при том, обладает лишь ряд специализированных САПР. Несмотря на это, для выбранной Rhinoseros 3D существует плагин RhinoWorks компании Bricsys, позволяющий контролировать взаимное положение и размеры трехмерных геометрических объектов. Так, плагин автоматически конвертирует объекты типа «Extrusion» в обычные поли-поверхности, позволяя применять к ним весь набор геометрических и размерных ограничений. С помощью RhinoWorks скорость внесения изменений в твердотельные, поверхностные и каркасные модели -

как созданные в Rhino, так и импортированные из других САД-систем - значительно возрастает [49].

3. Технология изготовления изделия

3.1. Технология быстрого прототипирования

Существует несколько способов вывода данных из 3D-систем. Во-первых, данные можно вывести в виде обычных чертежей и проекций, тем самым сохраняя преемственность к 2D-системам. Во-вторых, с помощью станков с числовым программным управлением (ЧПУ), получив реальный трехмерный макет [50]. Станки с ЧПУ имеют ряд недостатков: наличие «слепых» зон и участков, к которым технически не может подойти режущий инструмент; необходимость базовой площадки для закрепления заготовки; перерасход материала, ограниченная рабочая площадь и шум. Ввиду этих недостатков, для изделий инновационной промышленности, применяют технологию прототипирования или 3D-печать.

Быстрое прототипирование - это "выращивание" по слоям или послойный синтез готового изделия или модели непосредственно по электронным данным компьютерной CAD-модели. С учетом развития как самой технологии 3D-печати, так и применяемых для нее материалов, на сегодняшний день появляется возможность изготавливать не только прототипы, но и сами изделия, готовые к носке. Таким образом, применение технологии трехмерной печати способно не только оптимизировать, но и поменять весь технологический процесс изготовления обуви.

Существуют различные виды технологии [51]:

- стереолитография – STL (сокращённо);
- отверждение на твёрдой основе – SGC;
- наплавка – FDM;
- распыление – BPM;
- спекание порошков лазерами – SLS;
- моделирование, с использованием склеивания – LOM;
- многосопельное моделирование – MJM.

Все перечисленные выше технологии отличаются используемым

материалом и методом нанесения слоя.

Исходя из выбранного ранее материала, была определена и сама технология изготовления - FDM 3D-печать, или производство методом наплавления нитей. Она подразумевает создание трехмерных объектов за счет нанесения последовательных слоев материала, повторяющих контуры цифровой модели.

Производственный цикл начинается с обработки трехмерной цифровой модели. Модель в формате STL делится на слои и ориентируется наиболее подходящим образом для печати. Изделие производится выдавливанием (экструзией) и нанесением микрокапель расплавленного материала с формированием последовательных слоев. Нить разматывается с катушки и скармливается в экструдер – устройство, оснащенное механическим приводом для подачи нити, нагревательным элементом для плавки материала и соплом, через которое осуществляется непосредственно экструзия. Как правило, верхняя часть сопла наоборот охлаждается с помощью вентилятора для создания резкого градиента температур, необходимого для обеспечения плавной подачи материала. Все указанные характеристики в свою очередь определяются оборудованием для печати. В таблице 3 представлена сравнительная характеристика современных принтеров для 3D-печати [52].

Таблица 3. Сравнительная таблица характеристик 3D-принтеров

Модель, производитель	Масса, кг	Рабочая площадка, мм	Материалы	Скорость печати, мм/час	Толщина слоя, мм	Цена, тыс. руб.
Mendel, Проект RepRap	116	203x203x13 9	PLA, HDPE	23	0.3	24.5

Продолжение таблицы 3

SD1001-A, Solidoodle	123.25	152x152x15 2	ABS, PLA	10	0.1	18.1
Cube, 3D Systems	65.25	139x139x13 9	ABS	16	0.2	68.9
PP3DP, UP Personal Portable	79.75	139x139x13 0	ABS	14	0.2-0.3	42.9
Asiga, Freeform Pico	9.9	30x40x100	Фотополи- мер	25	0.01	459.520
Mojo, Stratasys	27.2	127×127×12 7	ABS	22	0.17	75.9
Inspire S200,Beijin g TierTime Technology Co. Ltd.	63.5	150×199×19 9	ABS	26	0.34	264.2
Lewihe Sneaker	14	320x210x21 0	PLA	7200	0.05	74.5

Оборудование, предполагаемое к использованию в обувной промышленности должно отвечать ряду обязательных требований, а именно:

1. габариты рабочей площадки должны соответствовать

максимальному размеру колодки;

2. спектр используемых материалов;

3. точность построения (нормой при проектировании обуви считается погрешность в 0.5 миллиметра);

4. скорость изготовления моделей должна быть максимально возможной для повышенной эффективности;

5. толщина слоя, характеризующая «гладкость» модели, должна находиться в пределах 0.01 – 0.3 мм.

Таким образом, в результате представленного анализа, предпочтительным оборудованием для печати представленной модели спортивных женских туфель является принтер Lewihe Sneaker, поступивший в продажу в декабре 2014 года.

Дополнительные технические характеристики Lewihe Sneaker включают [53]:

Размеры:

- принтер: 48 (ширина) x 35 (глубина) x 46 (высота) см;

Печать:

- технология печати: моделирование методом наплавления;
- используемая нить: 1,75 мм PLA или Filaflex;
- диаметр сопла: 0,4 мм;
- скорость печати: 120 мм/с.

Программное обеспечение:

- Cura, Repetier, Pronterface, Octoprint;
- форматы используемых 3D файлов: .stl, .gcode, .obj;
- Windows (7 +), Mac OS X (10 +), Linux.

Электрические:

- внешний блок питания постоянного тока 12 В 6 А.

Механические:

- конструкция: шасси из алюминиевого сплава;
- поверхность рабочего объема: закаленное стекло.

Камеры:

- разрешение камеры: 320 x 247.

3.2. Заключительная обработка поверхности

В качестве заключительного этапа придания изделию удовлетворительных потребительских характеристик, напечатанную поверхность необходимо обработать. Обработка может быть механической, либо химической.

Химическая обработка, безусловно, повышает качественные показатели изделия, но несомненно снижает его расщепляемость, что недопустимо при создании продукта, отвечающего современным экологическим показателям.

Простейшая механическая обработка, в свою очередь, может привести к нарушениям уникальной поверхности, созданной с учетом минимальных допусков, что, опять же, непозволительно при создании обуви, целиком и полностью, ориентированной на индивидуальные особенности покупателя.

Таким образом, чтобы придать изделию законченный вид, продиктованный условиями современного высоко конкурентного рынка, была выбрана технология, предложенная в 2013 году голландским дизайнером Эриком Хулеги. Технология подразумевает текстурирование изделия методом вакуумной формовки. Так, слой желаемой ткани «накладывается» на изделие, идеально повторяя каждый изгиб [54].

3.3. Экспертный анализ и оценка проекта

В рамках прохождения студенческой стажировки по подготовке диссертационного исследования, была организована презентация проекта для экспертной оценки руководству компании «nnf (no new folk studio)» -

создателю обувной линейки «Orphe shoes», реализуемой в рамках проекта «DMM.make.Akiba» в лице Юйи Кукикавы и Канаи Такахару.

«DMM.make Akiba» – известная площадка для инновационных стартапов компаний в Японии, представленная интернет-гигантом, компанией «DMM» и расположенная в самом центре технической промышленности г. Токио – Акихабаре. Это по-настоящему инновационное предприятие по продвижению и развитию рынка электроники и носимых устройств. При этом, именно «Orphe shoes» является одним из самых успешных стартап-проектов компании.

Так, по мнению специалистов, настоящий проект трансформируемой конструкции детских ортопедических туфель имеет шансы реализации и продвижения на рынке детских товаров, как в рамках Японии, так и за рубежом. При том, технологический процесс производства было рекомендовано пересмотреть, в виду высокой стоимости продукции на начальных этапах. Поэтому, совместно с Канаи Такахару – техническим директором «pnf», был разработан альтернативный вариант производства, включающий лазерную резку и использование полиуретанов EVA.

Стоит отметить, что подобное изменение, даже по предварительным расчетам, призвано сократить стоимость продукции в 7-10 раз, а также повысить эффективность транспортировки в виду того, что все детали предполагаются к производству из листового материала. Это также способно сыграть ведущую роль при продвижении товара, ведь не только элементы подошвы, но и всей колодки становятся разъемными, увеличивая степень индивидуализации продукта.

Указанные нововведения касаются и количества разъемных деталей, и изменения некоторых соединений. К примеру, появляется возможность дополнительного разъема пяточной и носочной частей, что может стать основой развития концепции «безразмерной» обуви, решая ведущую проблему частой смены обувных пар, в виду активного роста стопы в заданном возрастном целевом сегменте. К тому же, по утверждению

генерального директора «nnf» - Юйи Кукикавы, разработанный концепт может быть успешно применен и для более широкого круга потребителей, включая все возрастные группы, в силу своей универсальности.

Таким образом, полученная экспертная оценка крайне важна для разработки последующего плана производства и внедрения опытного образца. К тому же, продукция может быть произведена и реализована на площадке «DMM.make Akiba».

4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Целью раздела является комплексное описание и анализ финансово-экономических аспектов научно-исследовательской работы, что в свою очередь, позволит с помощью традиционных показателей эффективности инвестиций оценить экономическую целесообразность ее осуществления.

Достижение цели обеспечивается решением следующих задач:

- организация и планирование научно-исследовательских работ;
- оценка ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.

4.1. Организация и планирование работ

Для успешной реализации проектной деятельности необходимо рационально планировать занятость каждого из участников проекта, а также сроки проведения отдельных работ. Так, в таблице 5.1 приведен полный перечень этапов, с указанием исполнителей и их нагрузки.

Таблица 4. Этапы работ и распределение исполнителей

Основные этапы	Содержание работ	Трудовой ресурс и вовлеченность (%)
Разработка технического задания	Составление и утверждение технического задания	Научный руководитель (НР) – 100 %
Выбор направления исследований	Подбор и изучение материалов по теме	Исполнитель (И) – 100 %
	Проведение патентных исследований	И – 100 %

Продолжение таблицы 4

	Выбор направления исследований	НР – 100 % И – 30 %
	Календарное планирование работ	НР – 100 % И – 10 %
Теоретические и экспериментальные исследования	Проведение теоретических расчетов и обоснований	И – 100 %
	Моделирование и проведение виртуальных экспериментов	И – 100 %
	Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	НР – 30 % И – 100 %
Обобщение и оценка результатов	Оценка эффективности полученных результатов	НР – 100 % И – 70 %
Разработка технической документации и проектирование	Разработка принципиальной схемы модели	И – 100 %
	Расчет конструкции	И – 100 %
	Оценка эффективности производства и применения изделия	НР – 100 % И – 70 %
Изготовление опытного образца	Печать виртуальной модели	И – 100 %
	Испытания образца	И – 100 %
Оформление отчета по НИР и комплекта документации по ОКР	Составление пояснительной записки и технической документации	И – 100 %

4.1.1. Продолжительность этапов работ

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем и носит вероятностный характер. Так, ожидаемые значения продолжительности работ $t_{ож}$ были приняты к расчету по следующей формуле:

$$t_{ож} = \frac{3t_{min} + 2t_{max}}{5}, \quad (4)$$

где t_{min} - минимальная продолжительность работы, дн.;

t_{max} - максимальная, продолжительность работы, дн.

Для построения линейного графика необходимо рассчитать продолжительность выполнения каждого этапа в рабочих днях ($T_{РД}$).

$$T_{РД} = \frac{t_{ож}}{K_{ВН}} \cdot K_{Д}, \quad (5)$$

где $t_{ож}$ – продолжительность работы, дн.;

$K_{ВН}$ – коэффициент выполнения работ, учитывающий влияние внешних факторов на соблюдение предварительно определенных длительностей;

$K_{Д}$ – коэффициент, учитывающий дополнительное время на компенсацию непредвиденных задержек и согласование работ.

Расчет продолжительности этапа в календарных днях ($T_{КД}$) ведется по формуле:

$$T_{КД} = T_{РД} \cdot T_{К}, \quad (6)$$

где $T_{КД}$ – продолжительность выполнения этапа в календарных днях;

$T_{К}$ – коэффициент календарности, позволяющий перейти от длительности работ в рабочих днях к их аналогам в календарных днях, и рассчитываемый по формуле:

$$T_{К} = \frac{T_{КАЛ}}{T_{КАЛ} - T_{ВД} - T_{ПД}}, \quad (7)$$

где $T_{КАЛ}$ – календарные дни ($T_{КАЛ} = 365$);

$T_{ВД}$ – выходные дни ($T_{ВД} = 52$);

$T_{ПД}$ – праздничные дни ($T_{ПД} = 10$).

$$T_K = \frac{365}{365-52-10} = 1,205 \quad (8)$$

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания (табл. 6).

Таблица 5. Трудозатраты на выполнение проекта

Наименование этапа	Исполнители	Продолжительность работ, дни			Трудоемкость работ по исполнителям чел.- дн.			
		t _{min}	t _{max}	t _{ож}	T _{РД}		T _{КД}	
					НР	И	НР	И
Составление и утверждение технического задания	НР – 100 %	3	5	3,8	4,56	-	6,7	-
Подбор и изучение материалов по теме	И – 100 %	10	15	12	-	14,4	-	21,16
Проведение патентных исследований	И – 100 %	5	10	7	-	8,4	-	12,34
Выбор направления исследований	НР – 100 % И – 30 %	3	5	3,8	4,56	1,36	6,7	1,99
Календарное планирование работ	НР – 100 % И – 10 %	3	5	3,8	4,56	0,45	6,7	0,66
Проведение теоретических расчетов и обоснований	И – 100 %	15	30	21	-	25,2	-	37,04
Моделирование и проведение виртуальных	И – 100 %	15	30	21	-	25,2	-	37,04

экспериментов									
Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	НР – 30 % И – 100 %	5	10	7	2,52	8,4	3,7	12,34	
Оценка эффективности полученных результатов	НР – 100 % И – 70 %	3	5	3,8	4,56	3,19	6,7	4,68	
Разработка принципиальной схемы модели	И – 100 %	15	20	17	-	20,4	-	29,98	
Расчет конструкции	И – 100 %	10	15	12	-	14,4	-	21,16	
Оценка эффективности производства и применения изделия	НР – 100 % И – 70 %	3	5	3,8	4,56	3,19	6,7	4,68	
Печать виртуальной модели	И – 100 %	3	5	3,8	-	4,56	-	6,7	
Испытания образца	И – 100 %	3	5	3,8	-	4,56	-	6,7	
Составление пояснительной записки и технической документации	И – 100 %	15	20	17	-	20,4	-	29,98	
				Итого:	140,6	25,32	154,11	37,2	226,45

Таблица 6. Линейный график работ

Этап	НР	И	Сентябрь			Октябрь			Ноябрь			Декабрь			Январь			Февраль			Март			Апрель		
			10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240
1	6,7	-	■																							
2	-	21,16		■	■	■																				
3	-	12,34				■	■																			
4	6,7	1,99					■	■																		
5	6,7	0,66						■	■																	
6	-	37,04							■	■	■	■														
7	-	37,04										■	■	■	■											
8	3,7	12,34												■	■											
9	6,7	4,68													■	■										
10	-	29,98														■	■	■	■							
11	-	21,16																	■	■	■					
12	6,7	4,68																		■	■					
13	-	6,7																			■	■				
14	-	6,7																				■	■			
15	-	29,98																					■	■	■	■

4.2. Расчет сметы затрат на выполнение проекта

При планировании бюджета НТИ должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. Расчет сметной стоимости ее выполнения производится по следующим статьям затрат [55]:

- материалы и покупные изделия;
- заработная плата;
- социальный налог;
- расходы на электроэнергию (без освещения);
- амортизационные отчисления;
- командировочные расходы;
- оплата услуг связи;
- арендная плата за пользование имуществом;
- прочие услуги (сторонних организаций);
- прочие (накладные расходы) расходы.

4.2.1. Расчеты затрат на материалы

Раздел включает стоимость всех материалов, используемых при разработке проекта, т.е. приобретаемые со стороны сырье и материалы, необходимые для создания научно-технической продукции, стоимостью о 40 000 руб. включительно. Цены определяются в соответствии с рыночными, и включают транспортно-заготовительные расходы, а также расходы на совершение сделки купли-продажи.

Таблица 7. Расчет затрат на материалы

Наименование материалов	Цена за ед., руб.	Кол-во	Сумма, руб.
Бумага для принтера формата А4	1,5	1 уп.	150

Продолжение таблицы 7

Полиол POLYGREEN F6037 Deo	1,9	1 кг	100,9
Пластик листовой бесцветный ПЭТ-А0, 1мм	797,5	2 шт.	1595
Итого:			1845,9

При ТЗР = 5 % от отпускной цены материалов, $C_{mat} = 1845,9 \cdot 1,05 = 1938,2$ руб (расходы на материалы).

4.2.2. Расчет заработной платы

Расчет бюджета НТИ сводится к расчету материальных затрат и затрат на заработную плату исполнителей. Расчет основной заработной платы выполняется на основе трудоемкости выполнения каждого этапа и величины месячного оклада исполнителя. Среднедневная тарифная заработная плата ($ЗП_{дн-т}$) рассчитывается по формуле:

$$ЗП_{дн-т} = \frac{МО}{25,17} \quad (9)$$

Расчет затрат на полную заработную плату приведен в таблице 5.4. Затраты времени по каждому исполнителю в рабочих днях с округлением до целого взяты из таблицы 5.2.

Таблица 8. Затраты на заработную плату

Исполнитель	Оклад, руб./мес.	Сред.дневная ставка, руб./ раб.день	Затраты времени, раб.дни	Кoeffи- циент	Фонд з/платы, руб.
НР	23264,86	924,31	26	1,62	38931,94
И	14874,45	590,96	155	1,62	148390,06
Итого:					187322

4.2.3. Расчет затрат на социальный налог

Обязательные отчисления органам государственного социального страхования (ФСС) (2,9 %) + ФСС НС (несчастный случай) (0,2 %), Пенсионного фонда (ПФ) (22 %) и медицинского страхования (ФФОМС) (5,1 %) от затрат на оплату труда работников, объединены в форме страховых взносов. Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы: $Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot \text{ФОТ} = 187322 \cdot 0,251 = 47017,82$ руб,

где $k_{\text{внеб}}$ - коэффициент, учитывающий социальные выплаты, равный 0,3 (на основании ФЗ от 24.07.09 №213-ФЗ).

4.2.4. Расчет затрат на электроэнергию

Данный вид расходов включает в себя затраты на электроэнергию, потраченную в ходе выполнения проекта на работу используемого оборудования, рассчитываемые по формуле:

$$C_{\text{эл.об.}} = P_{\text{об}} \cdot t_{\text{об}} \cdot Ц_{\text{э}}, \quad (10)$$

где $P_{\text{об}}$ – мощность, потребляемая оборудованием, кВт; $Ц_{\text{э}}$ – тариф на 1 кВт·час; $t_{\text{об}}$ – время работы оборудования, час. Время работы оборудования вычисляется на основе итоговых данных таблицы 5.2 из расчета, что продолжительность рабочего дня равна 8 ч.

$$t_{\text{об}} = T_{\text{рд}} \cdot K_t, \quad (11)$$

где K_t – коэффициент использования оборудования по времени, равный отношению времени его работы в процессе выполнения проекта к $T_{\text{рд}}$. Мощность, потребляемая оборудованием, определяется по формуле:

$$P_{\text{об}} = P_{\text{ном.}} \cdot K_c, \quad (12)$$

где $P_{\text{ном.}}$ – номинальная мощность оборудования, кВт; K_c – коэффициент загрузки, зависящий от средней степени использования номинальной мощности.

Таблица 9. Затраты на электроэнергию технологическую

Наименование оборудования	Время работы оборудования $t_{\text{об}}$, час	Потребляемая мощность $P_{\text{об}}$, кВт	Затраты $\text{Э}_{\text{об}}$, руб.
Персональный компьютер	744	0,3	1290,54
Струйный принтер	14,4	0,15	12,49
SLS 3D-принтер	64	0,35	129,52
Итого:			1434,55

4.2.5. Расчет амортизационных расходов

В данном случае специальным оборудованием для НТИ является ПК, струйный принтер, SLS 3D-принтер. Амортизационные отчисления рассчитываются по формуле:

$$C_{\text{ам}} = \frac{C_{\text{об}} \cdot N_a \cdot t_{\text{рф}} \cdot n}{F_d}, \quad (13)$$

где N_a – годовая норма амортизации единицы оборудования, которая в соответствии с Налоговым кодексом РФ, определяется по следующей формуле: $N_a = \frac{1}{T_{\text{п.и.}}} \cdot 100\%$, где $T_{\text{п.и.}}$ – срок полезного использования объекта (в днях) определяется в соответствии с Классификацией основных средств, включаемых в амортизационные группы. ПК относится ко 2 амортизационной группе, код 14 3020000 «Техника электронно-вычислительная», срок полезного использования от 2 до 3 лет (принимается 2,5), для SLS 3D-принтера – 5 лет.

$C_{\text{ОБ}}$ – балансовая стоимость единицы оборудования с учетом ТЗР. $F_{\text{д}}$ – действительный годовой фонд времени работы соответствующего оборудования. $t_{\text{рф}}$ – фактическое время работы оборудования в ходе выполнения проекта, учитывается исполнителем проекта; n – число задействованных однотипных единиц оборудования.

Таблица 10. Затраты на электроэнергию технологическую

Наименование оборудования	Балансовая стоимость $C_{\text{ОБ}}$, руб.	Время работы оборудования $t_{\text{рф}}$, час	Амортизационные отчисления $C_{\text{ам}}$, руб.
Персональный компьютер	45000	155	1411,94
Струйный принтер	12000	24	58,30
SLS 3D-принтер	180000	80	1457,49
Итого:			2 927,73

4.2.6. Расчет прочих расходов

В статье прочих расходов отражены расходы на выполнение проекта, которые не учтены в предыдущих статьях, принятые равными 10% от суммы всех предыдущих расходов, т.е.

$$C_{\text{проч.}} = (C_{\text{мат}} + C_{\text{зп}} + C_{\text{соц}} + C_{\text{эл.об.}} + C_{\text{ам}} + C_{\text{нп}}) \cdot 0,1 \quad (14)$$

$$C_{\text{проч}} (\text{ПК}) = (148390,06 + 1290,54 + 1411,94) \cdot 0,1 = 15109,25 \text{ руб.}$$

$$C_{\text{проч}} (\text{Струйный принтер}) = (150 + 1595 + 148390,06 + 12,49 + 58,3) \cdot 0,1 = 15020,59 \text{ руб.}$$

$$C_{\text{проч}} (\text{SLS 3D-принтер}) = (100,9 + 148390,06 + 129,52 + 1457,49) \cdot 0,1 = 15007,80 \text{ руб.}$$

$$C_{\text{проч}} = 15109,25 + 15020,59 + 15007,80 = 45137,64 \text{ руб.}$$

4.2.7. Расчет общей себестоимости разработки

После проведения расчетов по всем статьям затрат на разработку, возможно определить общую себестоимость проекта конструкции детских ортопедических туфель.

Таблица 11. Смета затрат на разработку проекта

Статья затрат	Условное обозначение	Сумма, руб.
Материалы и покупные изделия	$C_{\text{мат}}$	1938,2
Основная заработная плата	$C_{\text{зп}}$	187322
Отчисления в социальные фонды	$C_{\text{соц}}$	47017,82
Расходы на электроэнергию	$C_{\text{эл.}}$	1434,55
Амортизационные отчисления	$C_{\text{ам}}$	2 927,73
Прочие расходы	$C_{\text{проч}}$	45137,64
	Итого:	285777,94

Таким образом, определен бюджет всех затрат на исполнение $C = 285777,94$ руб. Рассчитанная величина затрат является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции.

4.2.8. Расчет цены разработки НИР

Так как данные по выручке на текущем этапе реализации проекта не определены, то прибыль принимается в размере 57155,59 руб., что составляет 20 % от указанных расходов. При этом, НДС в размере 18 % от суммы затрат и прибыли равен 61728,04 руб.

Таким образом, цена разработки конструкции детской ортопедической обуви $C_{\text{НИР}} = 285777,94 + 57155,59 + 61728,04 = 404661,57$ руб.

4.3. Оценка эффективности проекта

Эффективность НИР может быть обоснована выявлением ряда аспектов. В данном случае основными выступают социальный и экологические эффекты, ведь проект направлен на общее повышение качества обувной продукции и оптимизацию процессов проектирования и производства. Экономический же эффект, в рамках рассматриваемого региона (Томская область, Россия), может быть установлен только в перспективе.

Социальная значимость проекта заключается в предполагаемом росте показателей здоровья трудоспособного населения, через внедрение средств профилактики в младшем возрасте. К средствам профилактики здесь относится детская ортопедическая обувь, спроектированная по рекомендациям врачей ортопедов и травматологов, и направленная на предотвращение развития заболеваний опорно-двигательного аппарата.

Ориентация на потребителя младшего возраста была выбрана с учетом результатов опросов и статистических данных лечений деформаций во ФГУП «Томское протезно-ортопедическое предприятие». Так, для взрослой сформировавшейся стопы срок реабилитации может достигать четырех лет. При этом, внедрение профилактической детской обуви способно полностью исключить необходимость лечения и, в перспективе, сократить статистику обращений среди взрослого населения.

Экологический же эффект может быть обозначен через внедрение оборудования бесконтактного лазерного сканирования и последующего быстрого прототипирования. Так, предполагаемый к использованию 3D-принтер обеспечивает безотходное производство применением STL-технологии, используя при этом материалы на биологической основе (NOP полиолы на основе природных масел. За 6 месяцев почвенные микроорганизмы перерабатывают такой полимер до воды, диоксида углерода или метана с остатком максимум 10%, который также можно использовать в

компосте). А применение принципов комбинаторики и модульного построения, позволяющее заменять элементы, подверженные быстрому истиранию, призвано повысить износостойкость изделия и, следовательно, повысить ресурсную эффективность производства. Таким образом, если объект будет позиционирован как образец ресурсной эффективности и экологической безопасности, потребитель младшего возраста, в первую очередь, научится ассоциировать удобную и доступную вещь с заботой об окружающей среде.

4.3.1. Оценка научно-технического уровня НИР

Для оценки научной ценности, технической значимости и эффективности НИР использован метод балльных оценок, на основе которого и определена целесообразность работы. Сущность метода заключается в том, что оцениванием признаков работы определяется интегральный показатель ее научно-технического уровня по формуле:

$$I_{НТУ} = \sum_{i=1}^3 R_i \cdot n_i, \quad (15)$$

где $I_{НТУ}$ – интегральный индекс научно-технического уровня; R_i – весовой коэффициент i -го признака научно-технического эффекта; n_i – количественная оценка i -го признака научно-технического эффекта, в баллах.

Таблица 12. Оценка научно-технического уровня НИР

R_i	Фактор НТУ	Уровень фактора	n_i	Обоснование выбранного балла
0,4	Уровень новизны	Систематизируются, обобщаются имеющиеся сведения, новые связи между известными факторами	4	Конечный продукт представляет собой принципиально переработанную, авторскую, форму, а так же способы оптимизации процесса проектирования профилактической детской обуви в мелкосерийном производстве
0,1	Теоретический уровень	Глубокая разработка проблемы, многоспектральный анализ взаимодействия между факторами с наличием объяснений	8	Это интеграция медицинских и производственных стандартов, направленная на создание ресурсоэффективной и инновационной модели
0,5	Возможность реализации	В течение первых лет	10	На основе опроса и анализа потребительских предпочтений

Отсюда интегральный показатель научно-технического уровня проекта составляет: $I_{НТУ} = 0,4 \cdot 4 + 0,1 \cdot 8 + 0,5 \cdot 10 = 7,4$, что указывает на средний уровень научно-технического эффекта и является

удовлетворительным результатом для установления целесообразности исполнения.

5. Социальная ответственность

В данном разделе ВКР проведен анализ возможных вредных и опасных факторов, возникающих при работе за компьютером, установленном в офисном помещении, используемым для проектирования и прототипирования ортопедической обуви, наряду с 3D-принтером и устройством лазерного сканирования стопы.

Целью настоящего раздела является изучение оптимальных норм, обеспечивающих производственную безопасность, повышение производительности труда сотрудников, сохранение их работоспособности и хорошего самочувствия в течении всего процесса работы, улучшение условий труда и охраны окружающей среды.

Пренебрежение правилам безопасности при работе за экраном компьютера угрожает и здоровью, и жизни сотрудника, а использование такой современной техники, как 3D-принтеры и лазерные сканеры в производственных помещениях, включает соблюдение ряда дополнительных мер по обеспечению охраны труда.

5.1. Производственная безопасность

Таблица 13. Опасные и вредные факторы при выполнении работ по проектированию ортопедической обуви

Источник фактора, наименование видов работ	Факторы (по ГОСТ 12.0.003-74)		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
1. Офисное помещение; проектирование, сканирование, печать	1. Повышенная или пониженная температура воздуха рабочей зоны; 2. Повышенный уровень шума на рабочем месте; 3. Повышенная или	1. Электрический ток	1. Параметры микроклимата - СанПиН 2.2.4-548-96 [1]; 2. Состав воздуха - СанПиН 2.2.4.1294-03,

	<p>пониженная влажность воздуха;</p> <p>4. Повышенная или пониженная ионизация воздуха;</p> <p>5. Повышенный уровень электромагнитных излучений;</p> <p>6. Отсутствие или недостаток естественного света;</p> <p>7. Недостаточная освещенность рабочей зоны;</p> <p>8. Повышенная яркость света;</p> <p>9. Прямая и отраженная блескость.</p>		<p>ГН 2.2.5.1313-03 [3];</p> <p>3. Электромагнитные излучения - СанПиН 2.2.4.3359-16, СанПиН 2.2.4/2.1.8.005-96 [4];</p> <p>4. Освещенность - СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 [5];</p> <p>5. Уровень шума – ГОСТ 12.1.003–83 [6].</p>
--	---	--	--

5.1.1. Повышенная или пониженная температура воздуха рабочей зоны

Микроклимат различных производственных помещений зависит от колебаний внешних метеорологических условий, времени дня, года, особенностей производственного процесса и систем отопления и вентиляции. В зависимости от производственных условий, наибольшее влияние оказывают либо отдельные элементы микроклимата, либо их комплекс, которые могут вызывать изменения в терморегуляции организма и состоянии здоровья работающих.

Одним из важнейших условий нормальной жизнедеятельности человека при выполнении профессиональных функций, является сохранение теплового баланса организма. Теплообменные функции организма, регулируемые терморегуляторными центрами и корой головного мозга,

обеспечивают оптимальное соотношение процессов теплообразования и теплоотдачи в конкретных метеорологических условиях. Основная роль в теплообменных процессах у человека принадлежит физиологическим механизмам регуляции отдачи тепла. В обычных климатических условиях теплоотдача осуществляется в основном за счет излучения, примерно, 45% всей удаляемой организмом теплоты, конвекции (30%) и испарения (25%) [56]. В условиях повышенной температуры среды теплопотери уменьшаются за счет конвекции и излучения, но увеличиваются за счет испарения. При температуре воздуха, равной температуре тела, теплоотдача за счет излучения и конвекции практически исчезает, и единственным путем теплоотдачи становится испарение пота. Низкая температура и усиление подвижности воздуха способствуют увеличению теплопотерь конвекцией и испарением. Значительная выраженность отдельных факторов микроклимата на производстве может быть причиной физиологических сдвигов в организме рабочих, а в ряде случаев возможно возникновение патологических состояний и профессиональных заболеваний.

Общие требования СанПиН 2.2.4.548 – 96 включают следующее:

1. показатели микроклимата должны обеспечивать сохранение теплового баланса человека с окружающей средой и поддержание оптимального или допустимого теплового состояния организма;

2. показателями, характеризующими микроклимат в производственных помещениях, являются: температура воздуха, температура поверхностей, относительная влажность воздуха, скорость движения воздушных масс, интенсивность теплового облучения.

3. работу сотрудника за ПЭВМ, можно отнести к категории работ Ia (работы с интенсивностью энергозатрат до 120 ккал/ч, производимые сидя и сопровождающиеся незначительным физическим напряжением) [57]. Соответственно этой категории, оптимальная температура воздуха на рабочих местах в холодный период года, должна находиться в диапазоне 22-24°C, а в теплый - 23-25°C. В то же время, допустимая температура будет

находиться в пределах от 21 до 25°C в холодный период (для постоянных рабочих мест), и от 22 до 28°C – в теплый. Перепады температур воздуха в течении смены при обеспечении оптимальных величин микроклимата на рабочих местах не должны превышать 2°C. Относительная влажность воздуха должна находиться в диапазоне 60-40% (оптимальная) в теплый и холодный периоды, а допустимая – в диапазоне 15-75% (исключение составляют условия, при которых температура воздуха превышает 25°C. Так, для принятой группы Ib максимально допустимые величины относительной влажности воздуха не должны выходить за пределы: 70 % - при температуре воздуха 25 °C; 65 % - при температуре воздуха 26 °C; 60 % - при температуре воздуха 27 °C; 55 % - при температуре воздуха 28 °C). Оптимальная скорость движения воздуха - 0,1м/с, при допустимой – менее 0,1м/с для холодного, и 0,1-0,2 м/с – для теплого периода. Интенсивность теплового излучения от нагретых поверхностей, осветительных приборов не должна превышать 35 Вт/м² (согласно табл.4, СанПиН 2.2.4.548 – 96).

Для обеспечения комфортных метеоусловий необходима установка системы местного кондиционирования воздуха, а так же воздушное душирование. Немаловажным фактором, влияющим на метеоусловия, является соответствие всем нормам как площади, так и объема рабочего помещения.

Установка устройств вентиляции и отопления крайне важна для оздоровления воздушной среды. Таким образом, в помещении с работающими ПЭВМ, устройством для 3D-печати и лазерным сканером, должно осуществляется кондиционирование воздуха, необходимое для поддержания параметров микроклимата независимо от внешних условий. В холодное время года параметры микроклимата поддерживаются системой водяного, воздушного или электрического отопления, в теплое – благодаря кондиционированию воздуха, с параметрами отвечающими требованиям санитарным нормам безопасности.

5.1.2. Повышенная или пониженная ионизация воздуха

Аэроионный состав воздуха производственных помещений оказывает непосредственное влияние на самочувствие сотрудника. Аэроионный состав воздуха в полной мере должен соответствовать требованиям СанПиН 2.2.4.1294-03.

К нормируемым показателям аэроионного состава воздуха относят: допустимый диапазон концентрации аэроионов обеих полярностей – ρ^+ , $\rho^{3/4}$, характеризующийся количеством аэроионов в одном кубическом сантиметре воздуха [ион/см³]; допустимый диапазон коэффициента униполярности $У$, определяемый отношением концентрации аэроионов положительной полярности к концентрации аэроионов отрицательной полярности.

Максимально и минимально допустимые значения нормируемых показателей концентраций аэроионов и коэффициента униполярности приведены в таблице 1 [58].

Таблица 14. Нормируемые показатели концентрации аэроионов и коэффициента униполярности

Нормируемые показатели	Концентрация аэроионов, ρ (ион/см ³)		Коэффициент униполярности $У$
	Положительной полярности	Отрицательной полярности	
Концентрация аэроионов, ρ (ион/см ³)	$\rho^+ < 400$	$\rho^{3/4} > 600$	0,4 < $У$ < 1,0
Коэффициент униполярности $У$	$\rho^+ < 50000$	$\rho^{3/4} > 50000$	

Высокая запыленность воздуха грозит увеличением напряженности электростатического поля. С увеличением напряженности электростатического поля возрастает концентрация тяжелых положительных аэроионов. В производственных помещениях целесообразно использовать кондиционеры со встроенными ионизаторами воздуха или приточно-

вытяжную вентиляцию, поддерживающие оптимальный аэроионный состав воздуха, очищающие его от пыли и вредных веществ.

В соответствии с ГН 2.2.5.1313-03, предельно допустимые концентрации наиболее распространенных вредных химических веществ в воздухе рабочей зоны следующие: фенол – 0,3 мг/м³; формальдегид – 0,035 мг/м³; стирол – 10 мг/м³ [3]. Формальдегид, стирол и фенол, наряду с другими веществами, используются при производстве строительных материалов (полимерных), используемых при отделке и облицовке производственных помещений.

Химическое загрязнение воздушной среды помещений может оказывать неблагоприятное влияние на самочувствие и состояние здоровья человека, связанное с неприятными обонятельными ощущениями, также может оказывать аллергенное, мутагенное и даже канцерогенное действие [59]. Токсические вещества в повышенной концентрации вызывают у человека головную боль, потерю внимания, резь в глазах, воспаление дыхательных путей и легких. Аллергические реакции, вызываемые формальдегидами, нарушают действие внутренних органов и обостряют хронические заболевания.

Для нормализации состояния воздушной среды, помимо использования вентиляционных и кондиционирующих устройств, целесообразно производить регулярное проветривание помещения.

5.1.3. Повышенный уровень электромагнитных излучений

При длительном постоянном воздействии электромагнитного поля (ЭМП) радиочастотного диапазона при работе за ПЭВМ на организм человека, наблюдаются нарушения сердечно-сосудистой, дыхательной и нервной систем, характерны головная боль, утомляемость, ухудшение самочувствия, гипотония, изменение проводимости сердечной мышцы. А

переход ЭМП в теплую энергию вызывает повышение температуры тела человека, локальный избирательный нагрев тканей, органов и клеток.

Предельно допустимый уровень напряженности ЭП на рабочем месте в течение всей смены устанавливается равным 15 кВ/м (СанПиН 2.2.4.3359-16 «Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах»). Для пользователей ПЭВМ допустимая напряжённость ЭСП определяется согласно ГОСТ Р 50948-2001 через электростатический потенциал экрана дисплея, который не должен превышать 500 В. При этом на расстоянии 0,5 м от экрана регистрируется напряжённость ЭСП 25 В/м, а в месте нахождения пользователя она значительно меньше.

Согласно СанПиН 2.2.4/2.1.8.005-96 выделяют следующие средства защиты от ЭМП:

1. организационные мероприятия: рациональное использование оборудования, исключающее нахождение персонала в зоне действия ЭМП во время, не предусмотренное для работы за ПЭВМ;

2. инженерно-технические мероприятия: правильное размещение оборудования, предусматривающее наличие средств, ограничивающих распространение ЭМП на рабочие места сотрудников;

3. лечебно-профилактические мероприятия: периодические медицинские осмотры, для предупреждения, ранней диагностики и устранения заболеваний персонала;

4. средства индивидуальной защиты: очки для работы за компьютером.

5.1.4. Недостаточная освещенность рабочей зоны

Важную роль при создании благоприятных условий труда, для работающих с ПЭВМ, в частности, играет правильная организация световой среды (а именно, обеспечение оптимальной концентрации естественного и искусственного света).

Согласно СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 при работе за персональным компьютером и документацией допускается комбинирование освещения, т.е. помимо общеравномерного освещения, установка светильников местного освещения.

Местное освещение должно располагаться ниже или на уровне линии зрения работника так, чтобы не создавать бликов на поверхности экрана. Освещение должно быть организовано таким образом, чтобы обеспечить оптимальные соотношения яркости рабочих и окружающих поверхностей. Освещенность в зоне просмотра документов должна быть в диапазоне 300-500 лк, а при работе исключительно с экраном – 200 лк. Искусственное освещение располагается так, чтобы обеспечить хорошую видимость на мониторе компьютера. Важна отражающая блескостность рабочих поверхностей (экран, стол, клавиатура и т.д.). Блескостность уменьшается за счет правильно подобранных осветительных устройств и расположения рабочих мест по отношению к источникам искусственного и естественного освещения. Потолок так же является отражательной поверхностью, поэтому его яркость не должна превышать 200 кд/м². Источником света при искусственном освещении являются люминесцентные лампы типа ЛБ нейтрально-белого или "теплого" белого цвета с индексом цветопередачи не менее 70 [60].

Плоскостью нормирования КЕО (коэффициента естественной освещенности) для рабочих помещений, является горизонтальная рабочая плоскость с высотой 0,8 м над полом. КЕО при верхнем или комбинированном естественном освещении должен составлять 3%, при боковом освещении – 1%. Для совместного освещения эти параметры, соответственно, - 1,8 и 0,6 %.

Коэффициент пульсации освещенности (Кп) не должен превышать 15% (для искусственного освещения).

5.1.5. Повышенный уровень шума на рабочем месте

Принтеры, плоттеры, трансформаторы, кондиционеры и вентиляторы, установленные в производственном помещении, оборудованном ПЭВМ служат основными источниками шума.

Уровень шума в производственных помещениях нормируется в децибелах (дБ) среднеквадратичных звуковых давлений, которые измеряются на линейной характеристике шумомера (или шкале С) в октавных полосах частот со среднегеометрическими частотами 63, 125, 500, 1000, 2000, 4000 и 8000 Гц [61]. Для ориентировочной оценки шума разрешается измерять его общий уровень по шкале А шумомера в дБА.

Согласно ГОСТ 12.1.003–83, допустимые нормы шума в производственных помещениях не должны превышать 80 дБА.

Таблица 15. Предельно допустимые уровни звука и эквивалентные уровни звука (ГОСТ 12.1.003–83)

Категория напряженности трудового процесса	Категория тяжести трудового процесса				
	легкая физ. нагрузка	средняя физ. нагрузка	тяжелый труд 1 степени	тяжелый труд 2 степени	тяжелый труд 3 степени
Напряженность легкой степени	80 дБА	80 дБА	75 дБА	75 дБА	75 дБА

Для снижения уровня шума в производственных помещениях, оборудованных ПЭВМ и сопутствующим оборудованием, машины устанавливаются на специальные фундаменты, с использованием амортизирующих прокладок, предусмотренные нормативными документами. Так же нормирование уровня шума обеспечивается предпочтением малошумного оборудования.

Нормирование вибраций проводится в зависимости от категории рабочего места, оценка рабочего места, оборудованного ПЭВМ, проводится по 3«в» категории согласно СН 2.2.4-2.1.8.566-96. Категория характеризуется технологической вибрацией, воздействующей на человека на рабочих местах

стационарных машин или передающаяся на рабочие места, не имеющие источников вибрации.

Также установлен интервал допустимой величины параметров вибрации на рабочих местах в производственных помещениях, оборудованных ПЭВМ, в зависимости от среднегеометрических и граничных частот октавных полос и амплитуды (пикового значения) перемещений при гармонических колебаниях. Предельно допустимые среднеквадратичные значения колебательной скорости лежат в интервале 75дБ. Рассматриваемое рабочее место относится к категории 3 «в», включающей конструкторские бюро, лаборатории, учебные пункты, вычислительные центры, конторские помещения, рабочие комнаты и другие помещения для работников умственного труда;

Таблица 16. Предельно допустимые значения вибрации рабочих мест категории 3 «в» при частоте 8 Гц

Среднегеометрические частоты полос, Гц	Предельно допустимые значения по осям X_0 , Y_0 , Z_0							
	виброускорения				виброскорости			
	м/с ²		дБ		м/с 10 ⁻²		дБ	
	1/3 окт	1/1 окт	1/3 окт	1/1 окт	1/3 окт	1/1 окт	1/3 окт	1/1 окт
8,0	0,0079	0,014	78	83	0,016	0,028	70	75

5. 2. Экологическая безопасность

Устаревшее оборудование в обязательном порядке подвержено утилизации. Утилизация осуществляется разборкой на фракции: металлы, пластмассы, провода, стекло. Переработка промышленных отходов производится на специальных полигонах, создаваемых в соответствии с требованиями СНиП 2.01.28-85 и предназначенных для централизованного сбора, обезвреживания и захоронения токсичных отходов промышленных предприятий, НИИ и учреждений.

Загрязнения воздушного бассейна, гидросферы и литосферы непосредственно при работе с ПЭВМ не обнаружено.

С учетом того, что в производственном помещении планируется расположение 3D-устройства прототипирования, возникает необходимость рассмотрения утилизации материала, задействованного в процессе печати.

Материалом в данном конкретном случае выступает биопластик филамент (нитевидной структуры) - Полиол POLYGREEN F6037 Deo. Следует отметить, что указанный материал был выбран именно в силу его растительного происхождения, и высоких показателей экологичности.

Выбранный подвид – ПЛА (полилактиды) – это полимеры на основе молочной кислоты, образующейся после молочнокислого брожения сахаристых веществ. За 6 месяцев почвенные микроорганизмы перерабатывают такой пластик до воды, диоксида углерода или метана с остатком максимум 10%, который также можно использовать в компосте.

5.2. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

5.3.1. Требования к оборудованию рабочих мест

Требования к оборудованию рабочих мест для взрослых пользователей, согласно СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03, следующие:

1. Высота рабочей поверхности стола для взрослых пользователей должна регулироваться в пределах 680 - 800 мм; при отсутствии такой возможности высота рабочей поверхности стола должна составлять 725 мм. Модульными размерами рабочей поверхности стола для ПЭВМ, на основании которых должны рассчитываться конструктивные размеры, следует считать: ширину 800, 1000, 1200 и 1400 мм, глубину 800 и 1000 мм при нерегулируемой его высоте, равной 725 мм. Рабочий стол должен иметь пространство для ног высотой не менее 600 мм, шириной - не менее 500 мм,

глубиной на уровне колен - не менее 450 мм и на уровне вытянутых ног - не менее 650 мм.

2. Конструкция рабочего стула должна обеспечивать: ширину и глубину поверхности сиденья не менее 400 мм; поверхность сиденья с закругленным передним краем; регулировку высоты поверхности сиденья в пределах 400 - 550 мм и углов наклона вперед до 15° и назад до 5°; высоту опорной поверхности спинки 300 ± 20 мм, ширину - не менее 380 мм и радиус кривизны горизонтальной плоскости - 400 мм; угол наклона спинки в вертикальной плоскости в пределах $\pm 30^\circ$; регулировку расстояния спинки от переднего края сиденья в пределах 260 - 400 мм; стационарные или съемные подлокотники длиной не менее 250 мм и шириной - 50 - 70 мм; регулировку подлокотников по высоте над сиденьем в пределах 230 ± 30 мм и внутреннего расстояния между подлокотниками в пределах 350 - 500 мм.

3. Рабочее место пользователя ПЭВМ следует оборудовать подставкой для ног, имеющей ширину не менее 300 мм, глубину – не менее 400 мм, регулировку по высоте в пределах до 150мм и по углу наклона опорной поверхности подставки до 20°. Поверхность подставки должна быть рифленой и иметь по переднему краю бортик высотой 10 мм.

4. Клавиатуру следует располагать на поверхности стола на расстоянии 100 - 300 мм от края, обращенного к пользователю, или на специальной регулируемой по высоте рабочей поверхности, отделенной от основной столешницы.

5.3.2. Общие требования к технике безопасности при работе с ПЭВМ

Сотрудники, работающие непосредственно с ПЭВМ, должны соблюдать требования инструкции по технике безопасности, разработанную на основе СанПин 2.2.2/2.4.1340-03. Работник несет личную ответственность за несоблюдение правил безопасности своего труда, а так же за создание

опасного или вредного производственного фактора для других сотрудников и поломку компьютера.

Режим труда и отдыха при работе с персональной электро-вычислительной машиной организуются в зависимости от категории деятельности. Для рассматриваемого вида нагрузки – творческой деятельности в режиме диалога – предусмотрена категория В. Именно эта группа характеризуется наиболее сильным общим утомлением оператора. Работа с компьютерной графикой представляет собой наибольшую нагрузку на зрение, особенно если экран небольшой и плотность деталей на нем высокая. Установлены так же три категории (I, II, III) тяжести и напряженности работы к ПЭВМ. Работа в течении полного рабочего дня относится к категории III.

Таким образом, уровень нагрузки за смену, для установленной группы и категории, должен составлять до 6ч. А суммарное время регламентированных перерывов – 90 мин (СанПин 2.2.2/2.4.1340-03. Приложение 7).

Для сотрудников, работающих с ПЭВМ, предусмотрен особый режим труда и отдыха: через каждые 45-60 мин интенсивной работы необходим перерыв 10-15 мин. Для повышения эффективности рабочих перерывов, необходимо делать производственную гимнастику. Производственная гимнастика должна включать комплекс упражнений, направленных на восполнение дефицита двигательной активности, снятие напряжения мышц шеи, спины, снижение утомления зрения. Гимнастика проводится 1-2 раза в смену в течении 5-7 минут. Продолжительность непрерывной работы с компьютером без регламентированного перерыва не должна превышать 2 часов.

Немаловажный фактор при работе с ПЭВМ, в том числе - это влажность воздуха. Для повышения влажности воздуха следует использовать увлажнители.

В кабинете должно быть искусственное и естественное освещение. Основной поток естественного света должен поступать исключительно слева(не допускается справа, сзади и спереди) работающего на компьютере. На окнах должны быть занавеси в два раза больше ширины окна.

Во время работы компьютера запрещается: оставлять компьютер без присмотра, проводить его ремонт, самостоятельно снимать корпус с компьютера.

5.3.3. Особенности законодательного регулирования проектных решений

Для предупреждения заболеваний, связанных с работой на ПЭВМ, необходима рациональная организация труда и отдыха, которая нормируется в соответствии с санитарными правилами.

Организация режимов труда и отдыха осуществляется в зависимости от вида и категории труда. Для преподавателей высших и средних специальных учебных заведений, устанавливается длительность работы в дисплейных классах и кабинетах информатики и вычислительной техники не более 4 часов в день. Для инженеров в кабинетах с ПЭВМ, продолжительность работы не должна превышать 6 часов в день.

Обязательные требования, установленные СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 для помещений для работы с ПЭВМ, включают следующее:

1. Расстояние между тыльной частью монитора и экраном другого - не менее 2 м, а между боковыми поверхностями двух мониторов – не менее 1,2 м;

2. Естественный свет должен падать на рабочий стол преимущественно слева, монитор соответственно находится левым боком к окну. Окна в помещениях, где эксплуатируется вычислительная техника, преимущественно должны быть ориентированы на север и северо-восток. Оконные проемы должны быть оборудованы регулируемыми устройствами

типа: жалюзи, занавесей, внешних козырьков и др.;

3. Применяется смешанное освещение: помимо общего света на каждом столе присутствуют местные светильники;

4. Помещение проветривается каждый час, влажная уборка проводится каждый день;

5. Высота рабочей поверхности стола строго равна 725 мм, либо регулируется в диапазоне 680 – 800 мм;

6. Каждый рабочий стул является подъемно-поворотным, а рабочее место оборудовано подставкой для ног шириной не менее 30 см;

7. Для внутренней отделки интерьера помещений, где расположены ПЭВМ, должны использоваться диффузно-отражающие материалы с коэффициентом отражения для потолка - 0,7-0,8; для стен - 0,5-0,6; для пола - 0,3-0,5;

8. Помещения, где размещаются рабочие места с ПЭВМ, должны быть оборудованы защитным заземлением (занулением) в соответствии с техническими требованиями по эксплуатации.

5.4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях

В производственных помещениях, оборудованных ПЭВМ и сопутствующей техникой, существует вероятность возникновения пожара.

Горючими компонентами в этом случае будут являться: строительные материалы для акустической и эстетической отделки помещений, перегородки, двери, полы, изоляция силовых и коммуникационных кабелей и др. Источниками воспламенения на рабочем месте оператора ПК могут быть: электронные схемы ПЭВМ, устройства электропитания, кондиционирования воздуха, где в результате различных нарушений образуются перегретые элементы, электрические искры и дуги, способные вызвать различные загорания горючих материалов.

Для помещений, в которых работают ПК, установлена категория пожарной опасности В (НПБ-105-03 «Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности»).

Характеристика категории В включает помещения, в которых находятся в обращении горючие и трудногорючие пыли, твердые горючие и трудногорючие вещества и материалы, способные только гореть при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или между собой. Производственные помещения, оборудованные ПЭВМ относятся также к классу I-II – зоны, расположенные в помещениях, в которых обращаются твердые горючие и трудногорючие вещества и материалы.

Для предотвращения возникновения пожара необходимо предусмотреть меры пожарной профилактики: соблюдение противопожарных требований при проектировании и эксплуатации систем вентиляции согласно СНиП 41-03-2003; соблюдение условий пожарной безопасности электроустановок согласно ПУЭ — 2002; наличие средств оповещения:

- пожарные извещатели (линейные, тепловые, дымовые и т.д.);
- автоматические установки пожаротушения (газовые централизованного и модульного типа, углекислотные);
- инструкции по мерам противопожарной безопасности (план эвакуации людей и технических средств).

Для улучшения условий пожарной безопасности в помещениях с ПЭВМ устанавливаются пол из негорючих материалов, технологически съемный. Вся бумага и ленты хранятся в специальном металлическом шкафу. В наличии так же обязательны два углекислотных огнетушителя типа ОУ-5, два дымовых датчика.

В случае возникновения пожара, все работники дисплейных залов должны знать порядок действия персонала при пожаре:

- при возникновении пожара немедленно сообщить в пожарную

часть по телефону 01;

- по возможности обесточить помещения;
- принять все зависящие меры по эвакуации людей;
- эвакуированных людей направлять в безопасные помещения;
- убедившись, что все люди эвакуированы, покинуть опасную зону и действовать по указанию начальника или пожарников;

- по возможности приступить к тушению пожара с помощью огнетушителей, внутренних пожарных кранов и других подручных средств;

- если ликвидировать очаг горения своими силами невозможно, то следует выйти из помещения, закрыв за собой дверь, не запирая ее на замок;

- в задымленном помещении следует соблюдать меры безопасности (дышать через влажную ткань, прикрыв ею нос и рот);

- во избежание отравления дымом необходимо открыть окна в комнате;

- приступить к эвакуации имущества.

Обязательным условием введения в эксплуатацию любого вида помещений, является наличие плана эвакуации при ЧС.

Назначение плана эвакуации:

- четко обозначить пути эвакуации, эвакуационные выходы, обеспечивающие безопасность процесса организованного самостоятельного движения людей наружу из помещений, в которых имеется возможность воздействия на них опасных факторов пожара, без учета применяемых в них средств пожаротушения и защиты от дыма;

- указать расположение пожарного оборудования и средств оповещения о пожаре;

- напомнить о первоочередных действиях, которые необходимо предпринять каждому человеку, обнаружившему начавшийся пожар.

Создание планов эвакуации регламентируется ГОСТ Р 12.2.143-2009 (с изменениями №1 от 2012 года).

На рисунке 28 представлен пример оформления плана эвакуации, который может соответствовать требованиям рассматриваемого типа производства.



Рисунок 28. Пример эвакуационного плана при ЧС

Заключение

Современное дизайн-проектирование - это сложный многоступенчатый процесс, и неудивительно, что для создания полноценного дизайн-продукта необходима система, требующая определенного логического порядка. Использование методов системного дизайна призвано ускорить и упростить процесс проектирования, свести к минимуму ошибки и погрешности, а также улучшить степень контроля за отдельными стадиями проекта. Разработка оборудования, предназначенного для промышленного производства, идет по пути автоматизации. Логичным будет предположить, что и изделия, предлагаемые к обработке и изготовлению, в будущем потребуют оптимизации проектирования.

В ходе выполнения диссертационного исследования были представлены возможности применения методологии системного дизайна в процессе создания обувной продукции. Произведен обзор основных методик проектирования ортопедической обуви с применением информационных технологий, рассмотрены технологии бесконтактного трехмерного лазерного сканирования и обратного инжиниринга, как средства оптимизации и рационализации мелкосерийного производства. Приведен обзор аналогов продукции на мировом рынке, и разработана авторская дизайн-концепции, основанная на принципах комбинаторного формообразования. В результате спроектирована модель детских туфель, отвечающая необходимым медицинским стандартам и требованиям, направленным на обеспечение нормального функционирования стопы. При разработке были учтены существующие проблемы и тенденции развития обувной индустрии, морфологические особенности строения опорно-двигательного аппарата человека, и потребительские предпочтения целевой аудитории.

Результаты исследования представлены и опубликованы в рамках международной и Всероссийской конференций, а также представлены в рамках стажировки в Токийском столичном университете (г. Токио, Япония),

и для экспертной оценки руководству компании «nnf» - создателю обувной линейки «Orphe shoes», реализуемой в рамках проекта «DMM.make.Akiba» (р-н. Акихабара, г. Токио), получив высокую положительную оценку.

Список использованных источников

1. Эффективность ортопедической обуви. URL: http://www.ortomini.ru/article/ortopedicheskaya_obuv/effektivnost_ortopedicheskoy_obuvi (дата обращения: 20.01. 2015).
2. Paul Ingraham. Orthotics Review, Vancouver, Canada, 2014. URL: <https://www.painscience.com/articles/orthotics.php> (дата обращения: 20.01. 2015).
3. Ковешникова, Н. А., Дизайн: история и теория: Учеб. Пособие. – М.: Омега-Л, 2005.
4. Михайлов С.М., Кулеева Л. М. М69 Основы дизайна: Учеб. для вузов/ Под ред. С.М. Михайлова.- 2-е изд., М.:»Союз Дизайнеров», 2002.
5. Шимко В.Т. Основы дизайна и средовое проектирование: Учеб.пособие. – М.: Издательство «Архитектура-С», 2004.
6. Медведев В.Ю. Сущность дизайна: учеб. пособие / В. Ю. Медведев. – СПб.: СПГУТД , 2004. – 79 с.
7. Промышленный дизайн [Электронный ресурс] : учебник / М. С. Кухта [и др.]; Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ), Институт кибернетики (ИК), Кафедра автоматизации и роботизации в машиностроении (АРМ). — 1 компьютерный файл (pdf; 7.9 МВ). — Томск: Изд-во ТПУ, 2013.
8. Арчер Л.Б. Взгляд на природу дизайн-исследований. Дизайн: Наука: Метод. Guildford, Surrey: IPC Business Press Ltd., 1981. С. 30-47.
9. Дизайн: очерки теории системного проектирования / Н. П. Валькова, Ю.А. Грабовенко, Е. Н. Лазарев, В. И. Михайленко. – Л.: ЛГУ, 1983. – 185 с.
10. Шатин Ю. В. Этторе Соттсасс / Ю. В.Шатин // Техническая эстетика, 1989, №9. – С. 25 – 29.
11. Ильюшин, С.В. Разработка методики проектирования обуви в формате 3D с использованием технологий обратного инжиниринга [Текст]:

автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. технич. наук/Московский государственный университет дизайна и технологии. –Москва, 2014. 187 с.

12. Зыбин Ю. Л. Конструирование изделий из кожи. Обувь и ее конструирование. М.: Легкая индустрия, 1969. - 319 с.

13. Линник А.И., Смелкова С.В., Горбачик В.Е, Милюшкова Ю.В. Конструирование изделий из кожи. Проектирование верха обуви по методу школы АРС Сутория (г. Милан): лабораторный практикум для студентов специальности 1-50 02 01 «Конструирование и технология изделий из кожи» специализации 1-50 02 01 03 «Конструирование обуви».

14. Раяцкас В.Л., Зыбин Ю.П. Построение условных разверток боковой поверхности колодки по жесткой оболочке.- Известия вузов. Технология легкой промышленности, 1963, № I, 126-137 с.

15. Данилова О.Н., Шеромова И.А., Еремина А.А. Архитектоника объемных форм: учеб. пособие/ Владивосток: ВГУЭС, 2005.

16. Деткина Д. Н., Фукин В. А. Использование иллюзий зрительного восприятия при художественном моделировании обуви. – М.: ИИЦ МГУДТ, 2010.

17. Фукин В.А. и др. Современные подходы к формированию поверхности колодки в 3D-системах // Кожевенно-обувная промышленность, №5, 2001.

18. Никитин А.А. Исследование способов формования заготовки с целью получения контуров деталей верха обуви при помощи ЭВМ. — Дис. канд. техн. наук. М.: МТИЛП, 1980.

19. Глазунова Е. М. Пыченкова И. Н. применение системы autocad для проектирования обуви, Кожевенно-обувная промышленность, 1992, № 8, 22-23 с.

20. Бердникова И.П. Разработка метода интерактивного проектирования конструкций верха обуви для САПР: Автореф. дис. канд. техн. наук. М., 1998. - 24 с.

21. Samuelson P., Scotchmer S. The Law and Economics of Reverse

Engineering // The Yale Law Journal, Vol. 111, No. 7 (May, 2002), pp. 1575-1663.

22. Божко Ю.Г. Архитектоника и комбинаторика формообразования. Учеб. для вузов. - Киев: Высшая школа, 1991.

23. Волкотруб И.Т. Основы художественного конструирования. – К.: Вища школа, 1988.

24. Бастов Г.А. Проблемы художественного проектирования мобильного ассортимента изделий из кожи с применением унифицированных конструктивных элементов.: Дис-я д.т.н. -М., - 1998.

25. Самовосстанавливающаяся обувь для бега, сделанная из 3D печатных протоклеток. URL: <http://www.3dindustry.ru/article/1655/> (дата обращения: 5.05.2015).

26. RE-INVENTING SHOES. Pushing the boundaries of shoe design with the latest materials and most advanced 3D printing technology. URL: <http://www.unitednude.com/news/2015/re-inventing-shoes> (дата обращения: 10.04.2015).

27. Подошва для полуботинка, в частности для кроссовки: патент Рос. Федерация № 2489069, патентообладатель ЭККО СКО А/С (ДК); опубл. 22.06.12.

28. Петушкова Г. И. Трансформативное формообразование в дизайне костюма [Текст]. – М.: МГУДТ, 2010.

29. Глазычев В.Л. Ле Корбюзье и дизайн XX века/ М.: Сов. художник, 1986. - 107с.

30. Устин, В.Б. Композиция в дизайне / В.Б. Устин. – М.: АСТ: Астрель, 2007.

31. Рябова Е.А. Разработка принципов формообразования обуви и аксессуаров как арт-объектов.: Дис-я к.т.н. – М., - 2012.

32. Линник, А. И. Макетное моделирование обуви : курс лекций / А. И. Линник. – Витебск : УО «ВГТУ», 2010. – 60 с.

33. Рыкова, Е.С. Разработка принципов формообразования обуви и

аксессуаров как арт-объектов [Текст]: автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. технич. наук/Московский государственный университет дизайна и технологии. – Москва, 2012. 187 с.

34. Михеева М.М. Современные методы в дизайне: методическое указание по курсу «Основы теории и методологии проектирования в промышленном дизайне» М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012 г. - 104 с.

35. Мир материалов и технологий. Полимерные нанокompозиты. Под ред. Ю-Винг Май, Жонг-Жен Ю. Москва: Техносфера, 2011. - 688 с.

36. Голиченков А. М. Гигиеническое значение комплекса ведущих компонентов полимерных материалов (фенола, стирола, формальдегида) как факторов загрязнения жилой среды. – Рукопись. Диссертация на соискание научной степени кандидата медицинских наук по специальности 14.02.01 – гигиена (медицинские науки). – Институт гигиены и медицинской экологии им. А. Н. Марзеева АМН Украины, Киев, 2006.

37. RhinoWorks V3. URL: <https://www.bricsys.com/common/applications/application.jsp?app=495&apploc=803> (дата обращения: 23.01.2017).

38. Управление проектами: учебное пособие / А. А. Дульзон; Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – 3-е изд., перераб. и доп. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2010. – 334 с. : ил.

39. Сосонкин В. Л., Мартинов Г. М. Системы числового программного управления [Текст]. Учебное пособие для вузов. Изд. Логос, 2005 г., 296 стр

40. Методические указания к выполнению раздела «Финансовый менеджмент, ресур-соэффеkтивность и ресурсосбережение» магистерской диссертации для всех специ-альностей ИК / сост. В.Ю. Конотопский; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2015. – 29 с.

41. Крепша Н.В., Свиридов Ю.Ф. Безопасность

жизнедеятельности: Учебно-методическое пособие. - Томск: Изд-во ТПУ, 2003. - 145 с.

42. СанПиН 2.2.4.1294-03. Гигиенические требования к аэроионному составу воздуха производственных и общественных помещений. М.: Минздрав России, 2003.

43. СанПиН 2.2.2.542-96 «Гигиенические требования к видеодисплейным терминалам, персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы» М.: Госкомсанэпиднадзор, 1996.

44. СанПиН 2.2.4/2.1.8.005-96 «Физические факторы производственной среды» М.: Минздрав России, 2003.

45. ГОСТ 12.1.003–83. Система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требования безопасности. 1988.

46. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности 23.123 – ФЗ, 2013.

47. Кухта М.С., Захаров А.И. Особенности формообразования предметно-функциональных структур в дизайне// Известия Томского политехнического университета. - 2012 - Т. 321 - .6 - С. 204-210.

48. Кухта М.С., Захаров А.И. Особенности формообразования предметно-функциональных структур в дизайне// Известия Томского политехнического университета. - 2012 - Т. 321 - .6 - С. 204-210.

49. Костюм: теория художественного проектирования. Под общ. ред. Козловой Т.В. – МГТУ им. А.Н. Косыгина, ООО «Совьяж Бево» - М., 2005.

50. Михайлов С., История дизайна Текст.: С. Михайлов / Т.2. М., СД России, 2003. – 228 с.

51. Шимко В. Т., Ефимов А. В. Дизайн. Иллюстрированный словарь-справочник [Текст]. - М.: «Архитектура – С», 2004. – 109 с.

52. Белько Т.В. Бионические принципы формообразования костюма.: Дис-я д.т.н. – М., - 2006.

53. Петушкова Г. И. Трансформативное формообразование в

дизайне костюма [Текст]. – М.: МГУДТ, 2010.

54. Фаршатова Т.М. Кинетическое формообразование в художественном проектировании трикотажа.: Дис-я к.т.н. - М., - 2000.

55. Деткина Д. Н., Фукин В. А. Использование иллюзий зрительного восприятия при художественном моделировании обуви. – М.: ИИЦ МГУДТ, 2010.

56. Заева – Бурдонская Е. А., Курасов С. В. Формообразование в дизайне среды. Метод стилизации.- М., - 2008.

57. Колейчук В.Ф. О комбинаторном формообразовании // Художественные и комбинаторные проблемы формообразования. М., 1979. – С. 32-39. - (Тр. ВНИИТЭ. Сер. Техническая эстетика; Вып. 20).

58. Галиулин Р.В. Кристаллографическая геометрия. — М.: Наука, 1984. — 136 с.

59. Wong, Wucius Principles of color design -2nd ed.: John Wiley & Sons, Inc., 1996.

60. Костылева В.В. Развитие теоретических и методологических основ автоматизированного проектирования обуви: Дис. д. т. н. — М.: МГАЛП, 1994. — 317с.

61. Кораблина С.Ю. Модульное проектирование конструкций обуви (на прмере детской обуви): Дис. к. т. н. — М.: МГАЛПД 998. - 156с.

62. Степанов А.В., Мальгин В.И., Иванова Г.И. Объемно-пространственная композиция: Учеб. для вузов / М.: Издательство «Архитектура-С», 2003.

63. Прицкер В.О., Разин И.Б., Фомина Т.Т. Концепция развития интегрированных автоматизированных систем конструкторской и технологической подготовки обувного производства: Сб. Автоматизация технологических процессов легкой промышленности. — М.: МГАЛП, 1993.

64. Виленкин Н.Я. Комбинаторика. – М: Наука, 1969. – 328 с.

65. Фомина Т.Т. Разработка основ проектирования рациональной спортивной обуви и оценка ее качества: дис. д-ра т. н. — М., 1991. - 498 с.

66. RU2147820 МКИ 7 А43 В3/24 Разборная обувь. Голованова А.Н., Петушкова Г.И., Чеснокова О.Н., 2000.
67. SU2131687 МКИ А43 В3/24 Разборная обувь, 1999.
68. Бастов Г.А. Вопросы художественного проектирования обуви из термо-пластичных материалов. Дис. к. т. н. — М., 1981. — 185с.
69. Петушкова Г.И. Композиция обуви. Ч.3 Симметричное формообразование в обуви — М.: МТИ, 1990 —27с.
70. Крюков Г.В. Основные принципы закономерности художественного конструирования изделий промышленного производства. М., изд. МВХПУ. 1964.
71. Уалиев Б.М. «Формообразование обуви в системе художественного проектирования для промышленного производства». Автореферат диссертации на соискание ученой степени к. т. н. М., 1989: 24 с.
72. Технология производства обуви. Часть 5. Сборка заготовок обуви. -М.: ЦНИИТЭИлегпром, 1979.
73. Технология производства обуви. Часть 6. Сборка и отделка; обуви. — М.: ЦНИИТЭИлегпром, 1979-1987.
74. Белгородский В.С., Белова Л.А., Безусьяк О.В. О некоторых проблемах классификации современной обуви// Сборник статей международной научно-технической конференции Витебск, 2005. - с. 2..
75. Michael H The Pattern cutter's handbook: a step by step guide to producing patterns for footwear production. Lancashire [England] : Footwear Open Tech Unit, 1994.
76. Антонов И.В., Алибекова М.И. Динамика развития методов формообразования в проектировании обуви. Научный журнал «Дизайн и технологии» №41, 2014. с. 23 – 32.
77. Антонов И.В., Костылева В.В., Алибекова М.И. Структура комбинаторного формообразования в проектировании обуви. Научный журнал «Дизайн и технологии» №47, 2015.
78. Золотцева Л.В., Бертман Н.В., Афонина Н.Я., Шильдт Е.В.

Новые подходы к проектированию современной универсальной одежды.
Научный журнал «Дизайн и технологии» №42, 2014.

79. Mass Customization and Footwear: Myth, Salvation or Reality?
Springer; 1st Edition. September 11, 2007. ISBN-10: 1846288649. 177 p.

80. Райгородский А.М. Линейно-алгебраические и вероятностные
методы в комбинаторике. — Летняя школа «Современная математика». —
Дубна, 2006.

**Приложение А
(обязательное)**

Methods of system design applicable to orthotics shoes making

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ДМ51	Крайняя Р.Г.		

Консультант кафедры ИГПД:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Вехтер Е. В.	к. пед. н.		

Консультант – лингвист кафедры ИЯИК:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Диденко А. В.	к. ф. н.		

Introduction

Modern design is an integral part of people's lives, as it forms the basis of the objective world in its close contact with consumers. One of the main tasks of design nowadays is to develop products to satisfy the diversity of needs and correspond to the growing trend of individualization. The design process of orthopedic footwear requires systematization which involves a logical structure and possibility of constant monitoring. The application of the system approach speeds up and simplifies the process, minimizing the errors.

Regardless of the fact that there are a large number of shoes on sale, it has been revealed that 65% of consumers suffer from foot-related pain. As the research shows [1], one of the main reasons for the occurrence and development of such pain are deformations that arise primarily in the foot areas. Such deformities in 80 % of cases are caused by irrational footwear [2]. Preventive shoes, according to the specialists of the FSUE Tomsk Prosthetic-Orthopedic Enterprise, is the most effective non-surgical way to avoid ailments. It is also important to note that prevention could be sufficient only in childhood age during the formation and active growth of the foot.

Thus, the increased number of diseases of the musculoskeletal system among the world's population determines the relevance of the current study. The design of preventive footwear with essential orthopedic elements for mass production could help to reduce the number of such disorders.

The research problem is the absence of mass produced preventive footwear in the commodity market.

The aim of the study is to develop a design conception of a shoe pair which would be attractive to the target consumer, and initially intended to correct and prevent foot-related deformations.

The object of the research is the market of children's footwear products.

The subject of the research is shoe products designed to prevent the development of foot-related deformations and aimed to satisfy consumer demand.

The research hypothesis: the current statistics of medical institutions indicate the prevalence of complaints, directly or indirectly caused by foot-related deformations. That is why the process of designing and manufacturing footwear products requires the optimization and implementation of technologies that can ensure the production of anatomically correct models.

Considering the problem, aim, and hypothesis, the following tasks of the dissertation research include:

1. Review of the primary methods of shoe design automatization;
2. Overview of the CAD systems, their capabilities and functioning algorithms;
3. Overview of the technology of non-contact three-dimensional laser scanning and reverse engineering;
4. Development of the design conception;
5. Producing a prototype.

The scientific novelty of the research is the application of methods of system design to optimize the small-scale industrial production of a pair of children's preventive footwear that meets the declared medical requirements, as well as safety and environmental standards.

The research is deemed practical as it yields:

1. The design conception of the shoe pair;
2. The proposed principle of combinatorial construction with the stylistic unity of the model series;
3. Combining material and manufacturing technology unusual for selected manufacturing;
4. Prototype presentation and implementation strategy for mass production.

1.1. System design methodology

Design nowadays is a complex interdisciplinary activity, aimed to form the technical basis of the objective world in its close contact with the consumer [3].

That is why any design represents a multistage process, devoted to the creation of an object with predefined characteristics or properties, or a model of a phenomenon that does not exist yet [4, 5]. Thus, these aspects require systematic and logical order.

The system approach speeds up and simplifies the design process, minimizing errors and inaccuracies [6]. It is based on the use of system engineering, and the desire to rationalize the methodology of artistic design by the introduction of logical schemes, sequences, and standards [7]. Besides, the use of system design methodology promotes the most efficient introduction of innovative technologies in the design process.

According to B. Archer, any industrial object should be considered primarily in the sphere of consumption, within the "consumer-object-environment" system [8]. Such system, in turn, is characterized by the interdependence of factors. Moreover, any problem has an established sequence of solutions. This methodology divides the design process into six stages:

1. Planning;
2. Information gathering;
3. Analysis;
4. Synthesis;
5. Prototype creation;
6. Project documentation preparation.

This way, the planning stage is intended for the clarification of the content. Information is then being collected to form a design problem and a technical task on its basis. This step determines the project goals and sets restrictions. As a result of this, the collected information, on the one hand, draws a picture of the realistic state of the project, and on the other, outlines the ideal situation to which the design aspires. At the same time, it allows to find the optimal characteristics of a new product, as well as determine the limits of the production, marketing, and maintenance [9].

It is also important to analyze the nature of the revealed interrelations which determine production factors. For example, if between the factor groups such links are uncertain, the problem is divided into subproblems. Based on the results, a scheme is constructed. Subsequently, one of the most critical subproblems must be considered in a detailed manner (specifying actors and the objective, conditions, and restrictions, as well as the relationship between them). As a result, a set of information about the product characteristics, as well as restrictions, imposed by the sphere of production, marketing and consumption can be obtained. Such specification forms the program for further project design stages.

Synthesis, in turn, allows to summarize previously established characteristics, and by expert selection, to choose perspective solutions for the formation of a project hypothesis [10]. This stage can be presented as a draft project, giving a clear idea of an established design solution. The draft then goes to the construction stage.

At the construction stage, the designer needs to use methods of comparison and analysis of existing solutions, referring to the previously established design scheme. An experiment is carried out then to test and approve the final design decision. After that, all official documentation must be transferred to the client. It is important to note that the design process must include all the specified stages to maintain the integrity and ensure the future product success.

1.2. Consumer demand analysis

Based on the research hypothesis, the effectiveness of deformation treatment is much lower than its prevention. On average, for an adult organism, it takes up to four years [11]. At the same time, prevention, started at a younger age, during the formation and ongoing growth of the foot is an extremely effective non-surgical way of preventing deformities. The optimal age of the consumer was established through a survey in which 87 respondents took part (parents of children

of a preferably younger age who applied to the FSUE Tomsk Prosthetic and Orthopedic Enterprise). According to this survey, 15% were children under the age of three, 20% - twelve years and older, 65% - between the ages of three and twelve. It was also discovered that shoe products are usually purchased not more than 3-4 times a year, which corresponds to the weather seasons.

The survey as well includes the identification of consumer preferences, specifically, areas to which children tend to show more interest. Thereby, 75% are involved in creative activities, including drawing, modeling and construction designing. Respondents also noted the quality of existing orthopedic products. Thus, the majority describe the correspondence in quality, appearance, and cost as positive, while noting the prevalence of import goods in the market. As confirmed by official statistics, the share of imports in the market of children's orthopedic products in Russia is up to 85-90% [12]. Also, it has been established that mostly the federal state enterprises are engaged in providing medical footwear, while the share of private commercial organizations does not exceed 13% [13]. It should be noted that within the most of the state structures, the model range has not been renewed for 10-20 years [14].

Furthermore, participants were given the information about the period of bio-dissociation of standard shoe products, to find out whether consumers are ready for innovative technologies, as well as aware of the environmental situation. According to the collected data, most of the respondents find such introductions positive, but only if it has no influence on a final price of the product. The results of the survey form the logical scheme of research and also become the basis for further stages of design process.

1.3. Design conception

The first step in developing a product, and footwear in particular, is the development of its artistic image. Appearance is important as it helps to stand out from the rest of competition. As a result of this, a series of children's kits for the

assembly and modeling have been chosen as a basis for design conception. These kits, consisting of standardized parts, detachable and interchangeable, are intended to contribute to the improvement of children's thinking and imagination.

According to the marketing research, the most recognizable series of modeling kits among children and their parents are one produced by LEGO Corp. [15]. As reported by the official company data, for the last 62 years the most popular assembly parts have been the three top colors (red, blue, yellow) and one extra (green), excluding achromatic - black, white and gray. Such popularity could be justified by simplicity and versatility of those colors; correlating with the colors of the surrounding world, children subconsciously choose them. Thus, four primary colors (PANTONE 7455 C, PANTONE 7593 C, PANTONE 7737 C, PANTONE 100 C) have been selected for the shoe pair design.

1.4. Construction

The primary function of footwear is protection. More directly, a shoe is considered as a means for covering feet. Based on this, designers and constructors tend to make models heavier, burdening them, among other things, with insoles and soles with increased degree of depreciation. As a matter of fact, those implements are extremely useful to mitigate the reaction forces, generated by the collision of the heel and the ground which has an adverse effect on the ankle and shin. Despite this, the increased weight of the shoe draws more power from the wearer. Therefore it is impractical to overload shoes, non-intended for heavy loads.

Any construction worn limits natural movements. For example, the rotation angle of the metatarsal interphalangeal joint (the angle between the ground and the metatarsal phalanges) is significantly reduced when wearing shoes. Specifically, when running barefoot this angle is close to 60° , but footwear use reduces it to 35° [16]. The muscles of the shin and sole are also unable to act in full capacity, therefore, if the shoe is constructed incorrectly, it will not only limit a person's ability to move efficiently but can also cause severe injuries and strains.

As indicated above, heavier constructions take a significant amount of energy during active wear, because of amortization, increased overall mass, distant gravity point and resisting torque. However, by making the structure lighter, it is important to provide tolerable support and consider the primary biometric aspects. Hence, a decrease in weight could be achieved by minimizing the size of the top of the shoe and minor structural changes in the construction of a sole.

Figure 9 (p. 23) shows the bones of the right foot at the medial (inner) side of the first metatarsal phalanx - 6, heel - 3, calcaneal tuberosity - 2 and large tuberosity - 1. Figure 10 (p. 23) displays the bottom view of the right foot. Numeral 8 marked the ankle bone, 9 - navicular bone, and at 10, 11 and 12 - three cuneiform bones, i.e., medial, intermediate and the lateral cuneiform bone accordingly. Line 19 represents a folding line on the human foot between the cuboid bone (number 18 on the diagram) and the lateral sphenoid bone (marked 12) and the navicular bone (number 9 on the diagram). A sole can flex along the folding line which means that if it is bent along a longitudinal axis extending between the fourth metatarsal phalanx (number 14 on the diagram) and the third metatarsal phalanx (marked 15), the three most medial phalanges 15, 16, 17 would flex in one direction and the two most lateral phalanges 13, 14 - in the opposite direction.

Forming this line in sole design pattern by providing a crease along the sole axis, allows muscles to turn inwards and outwards, and be compensated faster after hitting the ground. As follows, in the case of considerable inward angling, i.e. when the arch of the foot is moved to the medial side, the flexor muscle of the big toe, for external rotation, counteracts with a plantar bending reaction on the medial side of the foot. Such countering would be faster when using the sole with a crease along the sole axis as the flexor muscle of the big toe is not supposed to "lift" the whole sole, but only the part located on the inner side of the crease, i.e. the section comprising the first, second and third metatarsal phalanges [17].

The ideal ground touch point A is shown at the bottom of the heel part in Figure 11 (p. 25). This point is the optimal landing point and is located directly

under the heel with a slight offset to the inner side. In practice, however, this point is impossible to achieve. Generally, the ground touch occurs somewhere along the line B (Fig. 11, p. 25). The landing point depends on the individual, and its position may even be different on the right and left feet. Achieving the point A results in improving force and energy values. To bring the real touchdown point to the point A, the height of the heel part must be slightly reduced. In a preferred construction, the maximum height or thickness of the substrate at the bottom of the heel part should be in the range of 8 - 12 mm. The sole pattern can also be improved by limiting the protruding portion in the contact position. This way, the real contact point C would approximately lie between A and B.

Figure 12 (p. 27) shows a model of a shoe side and its top view. Evidently, the heel end extends vertically to the upper part of the central point corresponding to the calcaneal tuber. The top part of the heel thus goes to the place of attachment of the Achilles tendon to the heel ramification, and the upper heel section substantially covers the metatarsal tubercle at the medial and lateral sides. On the inner side of the foot, the proximal phalanx of the fifth metatarsal head forms a local extreme point, also known as the tuberosity bone. To eliminate the undesirable friction and to permit free displacement of the head and joints, holes or “windows” have been implemented to the main body of construction. With this, the material of a midsole has been removed out of the substrate part.

Analyzing the shape and design, it is important to note that all of the main dimensions are determined with GOST 19116-05 and GOST 3927-88 for voluntary plumpness and shoe last size. With the development of manufacturing, it is also planned to develop universal methods of size building to suit individual customers' needs.

1.5. Methods of combinatorial formation

Methods of combinatorial forming are ways of creating new forms using figurative thinking. They can be implemented by the introduction of divisions,

inserts, permutations and unified elements. Combinatorics represents variety, arrangement and the combination of consolidated components. The combinations of an unlimited number of different and unique original items, or a set of recurring standardized components, aim to obtain the desired (finest) solution of one or few material objects [18].

While organizing a combinatorial system, the most difficult would be ensuring the unity of the form corresponding to the functional, structural and aesthetic requirements. Thus, a combinatorial decorative item with rectilinear contours of geometrical shapes is the most efficient organization of combinatorial systems and can be included in any structure, being a part of a composition [19]. Such system of form organization allows the replacement of individual components and their assemblies without any amendments in the process of production [20]. The primary methods of combinatorial formation include:

- the creation of ornamental compositions by combining the elements;
- modular designing, where the standard elements draw up an integrated body-spatial form;
- connecting parts and proportional articulations within the form.

Transformations, on the other hand, represent methods of combinatorial formation, involving the creation of an object with a free (on movement) structure that permits conversion of objects with or without change of its properties. As well as combinatorics, transformations in footwear design could be applied to the shape of the product, its construction, and functionality or an artistic image [21]. The variety of transformable solutions are divided into two main groups:

- transformation of one form into another (e.g. the change in elevation, form of the toe part);
- change of elements within one structure (e.g. bending, twisting and torsion of the decorative element).

Now, with a relatively small amount of transformed products manufacturers can create a wide commodity range. Footwear, among other products, is always changing, becoming multifunctional, versatile and modified. This leads to the

product design, characterized by multivariance in approach, and allows to save consumers' money and extend lifespan by increasing the number of potential applications in a variety of conditions.

One of the forms of transformation, providing the overall dynamics, as well as decorative appearance, is kineticism. Kinetic art appeared in 1920-30s. Its founders were V. E. Tatlin and A. Calder. Moreover, it was significantly influenced by the aesthetics of Bauhaus, Russian Constructivism and Art Nouveau [22]. Kinetic design is generally uses movement as a major formative factor and source of artistic expression. Herewith, the shape forms during the movement and changes over time. Methods of kinetic formation include transformation and diversification. In design, it is expressed in the functional object stability with a capacity to move or remove movable elements. In a situation where product changes with a change of an element, it is no more kinetic, but a transformed form.

The movement, conducted as a basis for the dynamic construction, can be real and apparent. Hence, numerous ways of creating optical illusions have been developed based on the changing nature of different geometric systems. This way optical illusions can be created by partitioning the design lines of products, or by the pattern and texture of the material. In the footwear industry, designers face a significant number of individual characteristics and lower limb defects. Thus, knowledge of optical illusions and kineticism carry not only an aesthetic but also practical sense [23].

The efficiency of a design conception can be increased through the use of mathematical methods of combinatorics for determining the variety of options and the number of connections between the parts of linear and one-dimensional forms. Hereby, rearrangements with unified elements is a combination that can be composed out of n objects and the order which can be changed in various ways:

$$P_n = n! \quad (1),$$

where n - is the number of elements. For example, the number of rearrangements of five oval elements can be one hundred and twenty ($5! = 120$) and so on.

Other combinatorial term, placements, represents items equal in number, but different in quality, its order, and priority. Placements designate an ordered set of n distinct objects from a variety of different m elements different in order or by the object itself:

$$A_n^m = \frac{n!}{(n-m)!} \quad (2)$$

According to the formula (2), the number of placements, which contain three objects out of two elements, comprise six compounds (for pentagons).

The combination of n by m in combinatorics is called a set m of items, selected from a given multiplicity containing various elements. Sets, differing only in the order of the elements (but not its composition), are considered as equal. This is where combinations are different from placements. The order of elements is not taken into consideration in a single combination. As follows, among the combinatorial operations, rearrangements are the most sophisticated [24].

$$C_n^m = \frac{n!}{m!(n-m)!} \quad (3)$$

At this moment, the modular methods of design are promising and allow to convert shapes through the combinatorial search of standardized structural elements, providing constructive, technological and functional completeness. The possibility of replacing the modular components and flexibility of designing constructions ensure high economic efficiency. Hence, the use of combinatorial modules allows certain integrity and harmony in material objects [25].

1.6. Material

The primary function of footwear is protection, and, to provide it, manufacturers have been combining, changing and improving materials for many centuries. Despite many features associated with a broad differentiation of footwear products, the core principle of the material selection is its durability. The simple ratio establishes that the wear resistance of the material is directly proportional to its density, and, consequently, its quality. The established minimum

thickness of the material for active wear must exceed 1 unit (kg/m³) [26]. Experts distinguish three main groups of materials that meet set parameters: polyurethanes, leather and vulcanized rubber.

In addition to the density, the material should possess such indicators as wear resistance, ductility, moisture strength and insulating performance. From specified materials, those qualities apply only to a subgroup of polyurethanes, and precisely the EVA material - a composite polymer (ethylene vinyl acetate foam). This is a modern, light, ecologically friendly and hypoallergenic material with a high absorption capacity and a high degree of depreciation. Despite this, it is not fully decomposable (biologically, by OECD-criteria) and produces carbon dioxide, which is known to contribute to the greenhouse effect [27]. Hereby, to avoid negative influence of the industrial sample on the biosphere, production should focus on providing sufficient and biodegradable output.

Latest studies in the field of renewable bio-based materials show a steady positive trend. And one of the most promising, according to the CPI (Center for the Polyurethanes Industry, acting within the framework of the American Chemistry Council) reports, are NOP (natural oil polymers). NOP are produced from renewable raw materials such as soybean oil or castor oil, and used for reduction of petrochemical materials in polyurethane formulations [28]. Industry experts state that NOP production in comparison to conventional polyether and polyester polyols produces 36% fewer emissions contributing to global warming, and use 61% less non-renewable energy, requiring 23% less energy overall [29]. Besides, NOP possess high levels of plasticity which makes them highly convenient for a shoe pair.

1.7. The process of creating a 3D-model

For the project, two most suitable software products have been chosen, such as: 3Ds Max, Autodesk Corp., and Rhinoceros 3D, Robert McNeel & Associates. This way, to get the model with correct construction, the initial design

has been carried out sequentially in both environments. Thus, in 3Ds Max modeling stage begins with the creation of the sole path in the XY plane, according to the technical drawing using the command sequence «Create-Shapes-Line» (in the «Creation method» section switch on the «Smooth» parameter). These splines are then combined by «Attach» operation. After, the object must be converted to polygon structure by clicking «Convert to editable poly», and, in the Edit menu, the thickness of each element must be set.

Then, on the finished surface of the substrate, splines must be created, according to the set thumbnail, and then extruded (command «Extrude») along the print pattern (3 levels: 7 mm, 5 mm and 3 mm). The side surface, in turn, is created in two stages:

1. Transferring patterns and their deformation to fit the shape of the foot;
2. Creating circuit-spline patterns from the technical drawing.

This way, after the framework of the future surface is ready and represented as a solid object (this is being done by careful point construction, using such functions as «Fuse» and «Weld»), it is necessary to apply the modifier «Surface», and then «Shell», to add thickness of 3,5 mm. An orthopedic insole with an established protrusion can be created by a similar method, but at the final stage, it is necessary to additionally apply the modifier «Turbo smooth», because orthopedic insole design does not allow the presence of any sharp edges. It is important that the average thickness of the insole falls within the range of 5 to 8 mm.

Since the original construction includes thickening of the heel, front and partially the side parts, it all should be carried out separately. Modeling must be done by splines with «Surface» and «Shell» modifiers. The final view of the model (Figure 18) could then be adjusted and customized according to the individual characteristics of the customer's foot. In the meantime, some spline elements of the top are displayed incorrectly in 3Ds Max. In this regard, all the upper part of the shoe construction is made in Rhinoceros 3D environment.

Rhinoceros 3D allows designers to model solid-state elements, and most importantly, all connections can be performed with the highest tolerance, defining and securing the contacts. Hereby, Figure 19 (p. 31) shows the final view of the model, supplemented and prepared for further printing.

To ensure the individualization of further production, the parameters of the model must be adjusted, specifically, to establish the relationship between the dimensional elements. Parametrization, in this case, allows automating the process of rebuilding the model following the individual requirements set by the customers. Such functionality, in this case, could only be offered by some specialized CAD systems. Despite this, for the selected Rhinoceros 3D there is a plugin RhinoWorks by Bricsys, allowing to monitor the relative position and sizes of three-dimensional geometric objects. This way the plugin automatically converts objects of the "Extrusion" type into ordinary poly-surfaces, enabling to apply the entire set of geometric and dimensional constraints later. With the use of RhinoWorks, the speed of modifications in solid structures, surfaces, and wireframes, created in Rhino and imported from other CAD systems (in this case 3Ds Max) increases significantly [30].

1.8. Rapid prototyping technology

There are several ways to output data from 3D-systems, first, the ordinary drawings and projections, as in 2D-systems, secondly, with the help of numerical control machines (CNC), obtaining a real three-dimensional prototype [31]. Yet, CNC machines have a number of disadvantages:

- "blind" zones and areas which cutting tools cannot technically reach;
- the need for a base for fixing the workpiece;
- material waste;
- limited working area;
- noise.

Because of these drawbacks, the technology of rapid prototyping or 3D printing is becoming more and more popular, especially in innovative industrial productions.

Rapid prototyping "builds" a model layer-by-layer using the electronic data directly from a computer CAD model. Taking into account the development of both the technology of 3D printing and the materials used, today it becomes possible to produce not only prototypes but products ready for wear. Hereby, implementation of 3D printing technology can not only optimize but change the entire technological process of shoemaking.

There are different types of 3D technology [32]:

- stereolithography - STL;
- solid ground curing - SGC;
- fused deposition modeling - FDM;
- ballistic particle manufacturing - BPM;
- selective laser sintering - SLS;
- laminated object manufacturing - LOM;
- multi-jet modeling - MJM.

All the technologies listed above are determined by the materials used and methods of layers application.

Based on the selected material (NOP), the most suitable manufacturing technology would be FDM 3D printing, or production by fusing filaments. It involves the creation of three-dimensional solid objects by applying consecutive layers of material, repeating the outline of the digital model.

The production cycle begins with the processing of a three-dimensional digital model. The model in STL format is divided into layers and orientated in the most appropriate way for printing. The product is then produced by extrusion and application of microdroplets of molten material with the formation of coherent layers. The yarn (filament) is unwound from the spool and passes through the extruder - a device equipped with a mechanical drive for filing, a heating element for melting the material and a nozzle through which extrusion is carried out

directly. Usually, the upper part of the nozzle is cooled by a fan to create a sharp temperature gradient, which is necessary to ensure a smooth feed of the initial material. All specified characteristics are in turn determined by the equipment. Table 3 shows the comparative characteristics of modern and available 3D printers.

Table 3. Comparative characteristics of 3D printers

Model, producer	Mass, kg	Working platform, mm	Materials	Printing velocity, mm/h	Layer thickness, mm	Price, rub
Mendel, RepRap project	116	203 x 203 x 139	PLA, HDPE	23	0,3	24500
SD1001-A, Solidoodle	123,25	152 x 152 x 152	ABS, PLA	10	0,1	18100
Cube, 3D Systems	65,25	139 x 139 x 139	ABS	16	0,2	68900
PP3DP, UP Personal Portable	79,75	139 x 139 x 130	ABS	14	0,2 - 0,3	42900
Asiga, Freeform Pico	9,9	30 x 40 x 100	Photo polymer	25	0,01	459520
Mojo, Stratasys	27,2	127 x 127 x 127	ABS	22	0,17	75900
Inspire S200, Beijing	63,5	150 x 199 x	ABS	26	0,34	264200

TierTime Technology Co.		199				
Lewihe Sneaker	14	320 x 210 x 210	PLA	7200	0,05	74500

Equipment intended for the use in footwear industry must meet some mandatory requirements, including:

- dimensions of the working platform should correspond to the maximum size of the shoe;
- the range of materials used should include applicable;
- the maximum tolerance should not exceed 0,5 mm;
- the manufacturing speed should be efficient;
- the thickness of the layer, characterizing the "smoothness" of the model, should lie within 0,01 - 0,3 mm range.

As a result of this, the preferred equipment for printing out presented models would be the Lewihe Sneaker printer, which went on sale in December 2014.

Additional technical characteristics of Lewihe Sneaker include [28]:

1. Dimensions:

- printer: 48 cm (width) x 35 cm (depth) x 46 cm (height).

2. Printing:

- technology: fused deposition modeling (FDM);
- filament: 1,75 mm PLA or Filaflex;
- nozzle diameter: 0,4 mm;
- printing velocity: 120 mm/s.

3. Software:

- Cura, Repetier, Pronterface, Octoprint;
- digital files formats: stl, gcode, obj;

- Windows (7 +), Mac OS X (10 +), Linux.
4. Electrical:
 - external DC power supply 12 V, 6 A.
 5. Mechanical:
 - construction: aluminum alloy chassis;
 - working surface volume: tempered glass.
 6. Camera:
 - camera resolution: 320 mm x 247 mm.

1.9. Final Surface Treatment

As the last stage of making the product satisfactory for consumers, the printed surface must be processed. This treatment could be mechanical, or chemical. Chemical processing, of course, improves the quality of the product, but, undoubtedly, reduces its ultimate biodegradation which is unacceptable for modern environmental standards.

The simplest mechanical treatment, in turn, can lead to violations of the unique surface created with minimal tolerances, which, again, is unacceptable when creating footwear that is fully oriented to the individual characteristics of the customer. Thus, to give the product a finished look, dictated by the conditions of a highly competitive market, the technology proposed in 2013 by the Dutch designer Eric Hulegi have been chosen. This technological process implies the texturing of the product by vacuum forming. In this way, the layer of any fabric covers the product, ideally repeating each bend [33].

Conclusion

Design nowadays is a complex multistage process, and it is no wonder that in order to create a product of a full value it requires a system with a logical order. The use of the methods of system design accelerates and simplifies the process,

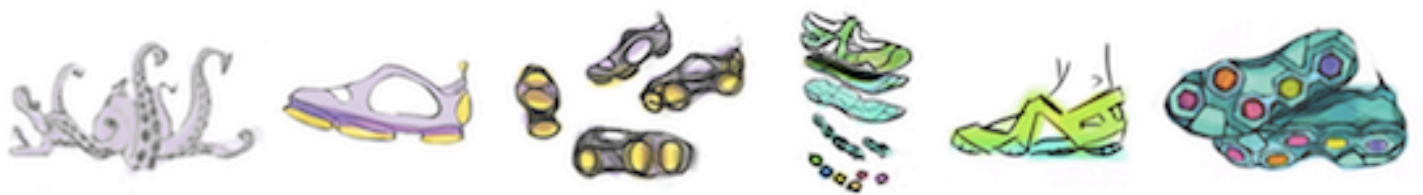
minimizing errors and inaccuracies to improve the degree of control over individual project stages. The development of industrial production goes towards the automatization. And it is reasonable to assume that design stages will require certain optimization.

During the dissertation research, the possibilities of applying the system design methodology to the process of creating footwear products were studied and presented. The design process has been described in detail with the presentation of the main design techniques, applied technologies and materials. Also, the market and consumer demand has been examined. As a result, an author's design conception has been developed, based on the principles of combinatorial shaping.

At the initial stages, a model of children's shoes has been constructed to meet the necessary medical standards and requirements, aimed to ensure the proper functioning of the foot. The scientific novelty of the research is the combination and application of materials, techniques, and technologies unusual for the traditional shoe industry. The results of the study have been successfully presented at the National and International conferences and published.

Приложение Б
(справочное)

ЭСКИЗНЫЕ ПРОЕКТЫ



**Приложение В
(справочное)**

**Национальный исследовательский
Томский Политехнический Университет
Институт кибернетики
Кафедра инженерной графики и промышленного дизайна**

**ОТЗЫВ
руководителя о выпускной квалификационной работе**

Тема ВКР: Методы системного дизайна в проектировании ортопедической обуви

Автор: Крайняя Р.Г.

Курс, группа: 2 курс, 8ДМ51

Институт кибернетики

Кафедра инженерной графики и промышленного дизайна

Направление подготовки 54.04.01 «Дизайн»

Руководитель: Вехтер Е.В.

Консультанты: Радченко В.Ю.

1. Характеристика работы студента: Крайняя Р.Г. за время обучения проявила себя как ответственный, исполнительный и внимательный студент, стремящийся повышать свой уровень знаний и квалификации. Имея достаточную теоретическую подготовку по основным профессиональным дисциплинам, показывала умение решать задачи и практические вопросы как самостоятельно, так и работая в команде. Результатами исследования выступают публикации, а также выступления на ряде международных конференций и конкурсов.

2. Общая оценка работы и область наиболее рационального использования молодого специалиста: Крайняя Р.Г. зарекомендовала себя как самостоятельный и активный специалист. Имея успешный опыт участия в международных программах обмена, может продолжать развивать сотрудничество с иностранными предприятиями.

Руководитель:

Доцент кафедры ИГПД, к. пед. н., Вехтер Е.В

(должность, ученая степень и звание, подпись, расшифровка подписи)

« _____ » _____ 2017 г.