

На правах рукописи



ИЛЬЮШИН Сергей Владимирович

**РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОБУВИ В
ФОРМАТЕ 3D С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИЙ
ОБРАТНОГО ИНЖИНИРИНГА**

Специальность 05.19.05

«Технология кожи, меха, обувных и кожевенно-галантерейных изделий»

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва – 2014

Работа выполнена в ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет дизайна и технологии» на кафедре «Художественное моделирование, конструирование и технология изделий из кожи»

Научный руководитель: доктор социологических наук, профессор, ректор
ФГБОУ ВПО «Московский государственный
университет дизайна и технологии»
Белгородский Валерий Савельевич

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор,
и. о. заведующего кафедрой «Стандартизация,
сертификация и товароведение» института
сферы обслуживания и предпринимательства
(филиал) ФГБОУ ВПО ДГТУ в г. Шахты
Прохоров Владимир Тимофеевич

кандидат технических наук, доцент
кафедры «Технология кожи, меха и изделий из кожи»
ФГБОУ ВПО «Московский государственный
университет технологий и управления
имени К.Г. Разумовского»
Бердникова Ирина Петровна

Ведущая организация: **ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский
государственный университет технологии и
дизайна» (г. Санкт-Петербург)**

Защита состоится « 17 » декабря 2014 г. в 10:00 часов на заседании
диссертационного совета Д212.144.01 в Московском государственном
университете дизайна и технологии по адресу: 117997, г. Москва, ул.
Садовническая, 33

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Московского
государственного университета дизайна и технологии, на официальном
сайте вуза www.msta.ac.ru и на сайте ВАК Минобрнауки РФ vak.ed.gov.ru.

Автореферат разослан «__» октября 2014 г.

Ученый секретарь
Диссертационного совета Д 212.144.01



Е. В. Лунина

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследования. Обувная промышленность на сегодняшний день представляет собой высокотехнологичное производство, активно использующее автоматизированное оборудование и специализированное программное обеспечение. В связи с ускорением процесса производства темпы морального старения продукции возросли. Как показывает отечественный и зарубежный опыт, реализация возможностей современных информационных технологий влечет за собой повышение качества и производительности труда, творческого потенциала работников, положительно сказывается на экономической эффективности производства. В обувной промышленности получили распространение системы автоматизированного проектирования обуви (САПРО), поддерживающие формат 2D. Эти системы автоматизируют работу с конструктивной основой верха обуви (КОВО), полученной графоаналитическим способом. Очевидно, что при этом нарушается информационно-логическая связь между формой усредненной развертки боковой поверхности колодки (УРК) и объемной формой колодки. При построении чертежа обуви возникают погрешности, обусловленные отсутствием теоретически точной методики получения развертки сложно-пространственной поверхности колодки. Изменение фасона колодки влечет за собой корректировки формы УРК и, как следствие, построение новой КОВО. Следовательно, возникает необходимость связать на информационном уровне поверхность колодки с КОВО. Для этого необходимы системы, которые могут обрабатывать данные как в формате плоскости 2D (для работы с чертежом), так и в 3D-формате. Современные программы трехмерного моделирования позволяют связать эти два пространства.

На рынке уже имеются САПРО, поддерживающие 3D-формат (САПРО-3D). Наиболее известными среди них являются разработки фирм DelCam, Clarks, Lectra, Ovieline. Однако технологические особенности западного оборудования, а также высокая стоимость программного обеспечения, препятствуют активной интеграции зарубежных САПРО-3D в российское обувное производство. В отечественных вузах текстильной и легкой промышленности ведутся исследования по разработке САПРО-3D, отвечающих требованиям российских производителей обуви. Так в МГУДТ к.т.н. Буй В.Х. под руководством проф. Фукина В.А. предложена система «Last-Design», позволяющая спроектировать обувную колодку на

базе 3D-антропометрии стопы. Логическим продолжением тематики данной работы стала разработка САПРО-3D. Еще одним фактором, повлиявшим на актуальность работы, выступает появление на рынке большого количества недорогих программ 3D-моделирования и высокотехнологичного оборудования для обратного инжиниринга.

Повышение качества проектирования за счет внедрения программ, поддерживающих 3D-формат, а также современного информационного оборудования, входит в перечень приоритетных направлений развития науки, технологий и техники в Российской Федерации (Указ Президента РФ от 07.07.2011 № 899, пункт 3 – «Информационно-телекоммуникационные системы»). Следовательно, разработка методики проектирования обуви в 3D-формате с использованием технологий обратного инжиниринга является актуальной научной задачей.

Степень научной разработанности проблемы. Кафедрой ХМКиТИК МГУДТ и профильными кафедрами других вузов текстильной и легкой промышленности накоплен большой методический и практический опыт по использованию информационных технологий для совершенствования проектирования изделий легкой промышленности. Автоматизации проектирования обуви и оснастки посвящены работы ученых МГУДТ: Фукина В.А., Костылевой В.В., Разина И.Б., Киселева С.Ю., Калиты А.Н., Бекк В.Г., Бекк Н.В., Буй В.Х. В зарубежных источниках проблема освещена в основном с позиции модульной проработки отдельных операций проектирования. Так в работах С.Н. Zhang, X.J. Zheng, K.Y. Tang рассматривается вопрос трехмерного моделирования релаксации кож КРС. Emma J. Pratt и соавторы рассматривают кинематику обуви в 3D-пространстве. P. Franciosa и S. Gerbino изучают вопрос повышения качества деталей низа с использованием трехмерного моделирования. Исследователи Meng-Dar Shieh и Yu-En Yeh предлагают систему трехмерного моделирования спортивной обуви для анализа эмоционального восприятия потребителем дизайна новой модели.

Гипотеза исследования. Повышение качества проектирования обуви тесно связано с увеличением точности конвертирования данных о трехмерных деталях верха обуви в плоские шаблоны. При этом создание алгоритмов, позволяющих учесть физико-механические свойства материалов верха на стадии получения УРК, возможно с помощью программ трехмерного моделирования. Использование данных алгоритмов

в сочетании с современным информационным оборудованием и программным обеспечением позволит создать САПРО-3D.

Объектом исследования являются процессы проектирования обуви, лазерного сканирования и прототипирования, программы трехмерного моделирования.

Предметом исследования являются детали верха, низа обуви и поверхность колодки.

Область исследования. Диссертационная работа выполнена в соответствии с паспортом специальности 05.19.05-«Технология кожи, меха, обувных и кожевенно-галантерейных изделий».

Целью данной работы является повышение качества обуви за счет перехода к проектированию в 3D-формате с использованием трехмерного лазерного сканирования и технологий быстрого прототипирования.

Для достижения поставленной цели в диссертации решены следующие задачи:

- проведен анализ существующих программ трехмерного проектирования обуви;
- выбран наиболее рациональный формат математического описания поверхности колодки при проектировании в трехмерной среде;
- проведен анализ существующих методик получения УРК;
- исследован процесс получения развертки объектов содержащих сложно-пространственную поверхность;
- разработана методика получения УРК с учетом физико-механических свойств материала верха обуви;
- создана программа «КО-3D», для автоматизации процесса проектирования обуви;
- спроектированы в формате 3D модели обуви с различной степенью пространственности заготовки верха.
- изготовлен опытный образец модели обуви полуплоской конструкции, разработанный с использованием программы «КО-3D»;
- рассчитана экономическая эффективность проектирования обуви в формате 3D с использованием созданного программного обеспечения.

В работе использовались следующие технические средства:

- трехмерный лазерный сканер «Pedus 3D Footscanner»;
- цветной 3D-принтер «Cubify 3D Systems»;
- Система обработки данных, полученных с применением лазерного сканирования «Geomagik Studio»;

- Программа трехмерного моделирования «Autodesk Maya».

Научная новизна диссертации заключается в разработке концепции виртуального проектирования обуви в 3D-формате с учетом физико-механических свойств материалов верха, включающей:

- способ проектирования верха обуви на трехмерной модели колодки, с использованием обратного инжиниринга;
- программу «КО-3D» для автоматизации проектирования обуви;
- новый способ получения УРК, учитывающий физико-механические свойства материалов верха;
- методику использования технологий быстрого прототипирования.

Личный вклад автора. Автором сформулированы цель и основные задачи исследования, разработана программа для автоматизации проектирования обуви в трехмерной среде. Составлены алгоритмы проектирования моделей обуви различной степени пространственности заготовок верха. Осуществлен подбор оборудования для функционирования САПРО-3D.

Теоретическую значимость диссертационного исследования составляют способы проектирования обуви с использованием обратного инжиниринга и предложенная математическая модель получения развертки сложно-пространственной формы с учетом физико-механических свойств материалов верха обуви.

Практическую значимость имеют:

- программа «КО-3D» для «Autodesk Maya», позволяющая проектировать детали верха обуви в трехмерной среде;
- методика получения базовой геометрической информации о колодке для ведения проектных работ по созданию деталей верха и низа обуви в 3D-формате.
- новый способ получения УРК, позволяющий учесть физико-механические свойства материала верха обуви на стадии проектирования;
- методика использования систем быстрого прототипирования, (включая анализ и подбор необходимого оборудования) для создания макетов колодок, моделей обуви и деталей низа.

Достоверность. Достоверность полученных данных подтверждается высокой корреляцией результатов теоретических и экспериментальных исследований, аналитическими и теоретическими выкладками с использованием математических и программных методов, опытной апробацией методики проектирования верха обуви с последующим

изготовлением натурального образца, свидетельством о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014615598 и заявкой на патент № 2013147661.

Положения, выносимые на защиту:

1. Предложенная структурно-логическая схема функционирования САПРО-3D, включающая лазерное сканирование, быстрое прототипирование и обратный инжиниринг;

2. Разработанная методика подготовки исходных данных для трехмерного проектирования деталей верха и низа обуви;

3. Разработанная программа «КО-3D», позволяющая автоматизировать основные операции проектирования обуви в трехмерной среде;

4. Разработанная методика проектирования обуви с различной степенью пространственности заготовки верха, включающая в себя элементы проектирования на основе УРК и жесткой оболочки;

5. Предложенный способ получения сложно-пространственной формы развертки боковой поверхности колодки с учетом физико-механических свойств материала верха.

Реализация результатов. Созданная методика и программа «КО-3D» рекомендуется предприятиям различных форм собственности и профильным учебным заведениям. Имеются акты внедрения методики и программы в ООО «Спортмастер» г. Москва и опытной апробации на ЗАО МОФ «Парижская Коммуна». Получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014615598. Подана заявка на патент РФ № 2013147661 от 25.10.2013 «Методика получения развертки боковой поверхности колодки». Изданные учебные пособия «Проектирование изделий с использованием технологии быстрого прототипирования» и «Проектирование обуви в системе 3D» используются в учебном процессе кафедры художественного моделирования, конструирования и технологии изделий из кожи МГУДТ.

Апробация результатов работы. Основные положения диссертации и результаты работы доложены на заседаниях кафедры ХМКиТИК Московского государственного университета дизайна и технологии, а также на всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Чтения, посвященные памяти заслуженного деятеля науки РФ Фукина Виталия Александровича», на V международной интернет-конференции молодых ученых, аспирантов и студентов «Инновационные технологии: теория, инструменты, практика» (InnoTech

2013) и на IX Международной выставке профессионального образования и академических обменов StudyWorld 23-24 мая 2014 г. (Берлин, Германия), в рамках комплексной экспозиции «Российские университеты. Образование, наука и инновации» Министерства образования и науки РФ.

Публикации результатов. Основные положения проведенных исследований отражены в 5 печатных работах, 3 из которых опубликованы в ведущих рецензируемых изданиях рекомендованных ВАК, и в 1 патенте на изобретение.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, 4-х глав, выводов по главам и работе в целом, списка литературы включающего 215 источников. Работа изложена на 166 страницах машинописного текста, включает 87 рисунков, 19 таблиц и 3 приложения.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы проведенного исследования; сформулированы цель работы, основные задачи и методы исследования, научная новизна и практическая ценность полученных результатов; приведены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе представлен обзор основных методик проектирования обуви, проанализированы возможности их использования в рамках САПРО. Рассмотрен процесс эволюции САПРО в легкой промышленности. Проведен сравнительный анализ функционирования САПР-2D и САПР-3D на основе разработанных структурно-логических схем. Выявлены наиболее предпочтительные пути расширения автоматизации процессов проектирования обуви. Для этого предлагается создать САПР обуви на базе универсальной программы трехмерного моделирования (САПРО-3D) и современного оборудования - трехмерных лазерных сканеров, прототипирующих устройств, а также концепции обратного или реверс-инжиниринга. По результатам анализа современных программ 3D моделирования в качестве базовой для создания САПРО-3D выбрана Autodesk Maya (США). Сформулирован ряд критериев подбора оборудования для функционирования САПРО-3D. По результатам анализа, как наиболее предпочтительные, выделены лазерные сканеры Breuckmann D-Station и Pedus 3-D footscanner. Рассмотрена технология быстрого прототипирования и перспективы её использования в обувной промышленности. Для нужд обувной промышленности наиболее

рациональным является 3D принтер Cube от компании 3D Systems. С учетом подобранного оборудования и программ разработан структурно-логическая схема САПРО-3D (рис. 1).



Рисунок 1. Структурно-логическая схема САПРО-3D

Во второй главе представлена сравнительная характеристика программ, предназначенных для обработки результатов лазерного сканирования. Для конвертации данных о колодке выбрана программа Geomagic Studio. Рассмотрены математические модели описания поверхности колодки и форматы 3D файлов. Наиболее подходящей в рамках настоящей диссертации признана модель NURBS, в качестве наиболее рационального формата - STL.

Разработан способ трансформации данных лазерного сканирования в 3D-поверхность колодки применительно к проектированию в САПРО-3D. Так как наибольшее распространение на отечественных предприятиях получило проектирование на базе УПК, был разработан способ получения развертки с трехмерной модели колодки. Для решения данной задачи проанализированы существующие способы получения разверток с целью их проекции в САПРО-3D. Исследован процесс получения развертки объектов содержащих сложно-пространственную поверхность с применением 3D-моделирования. За основу принят способ триангуляции. Для его реализации боковая поверхность колодки была разбита на сеть треугольников, а затем программными средствами смоделировано распластывание поверхности. При этом для получения плоской развертки без выточек и наложений, предложено деформировать треугольники, образующие поверхность не только за счет изгиба, но и за счет растяжения и сжатия. Величины растяжения и сжатия согласованы с деформациями, допустимыми для материалов, применяемых в обувной промышленности. Для этого рассчитано, на какую максимальную величину изменяются углы и, соответственно, длины сторон треугольников, образующие боковую поверхность колодки. Используя геометрические методы, рассчитана величина трансформации углов треугольника при переходе от объемной поверхности к плоской. В результате получена формула:

$$\sin\alpha_1 = 0.5625 E^{2*} \sin\alpha, \quad (1)$$

где α_1 - угол между ребрами распластанного треугольника;

α - угол между ребрами объемного треугольника;

E – разрывная нагрузка, (Н).

Формула (1) позволяет учесть величину деформаций конкретного материала при построении развертки, по данным его разрывной нагрузки.

Используя полученную формулу и программные методы, разработан способ получения УРК в 3D-формате, учитывающий физико-механические свойства материала, из которого планируется изготавливать заготовку верха обуви. Алгоритм построения УРК представлен на рисунке 2.

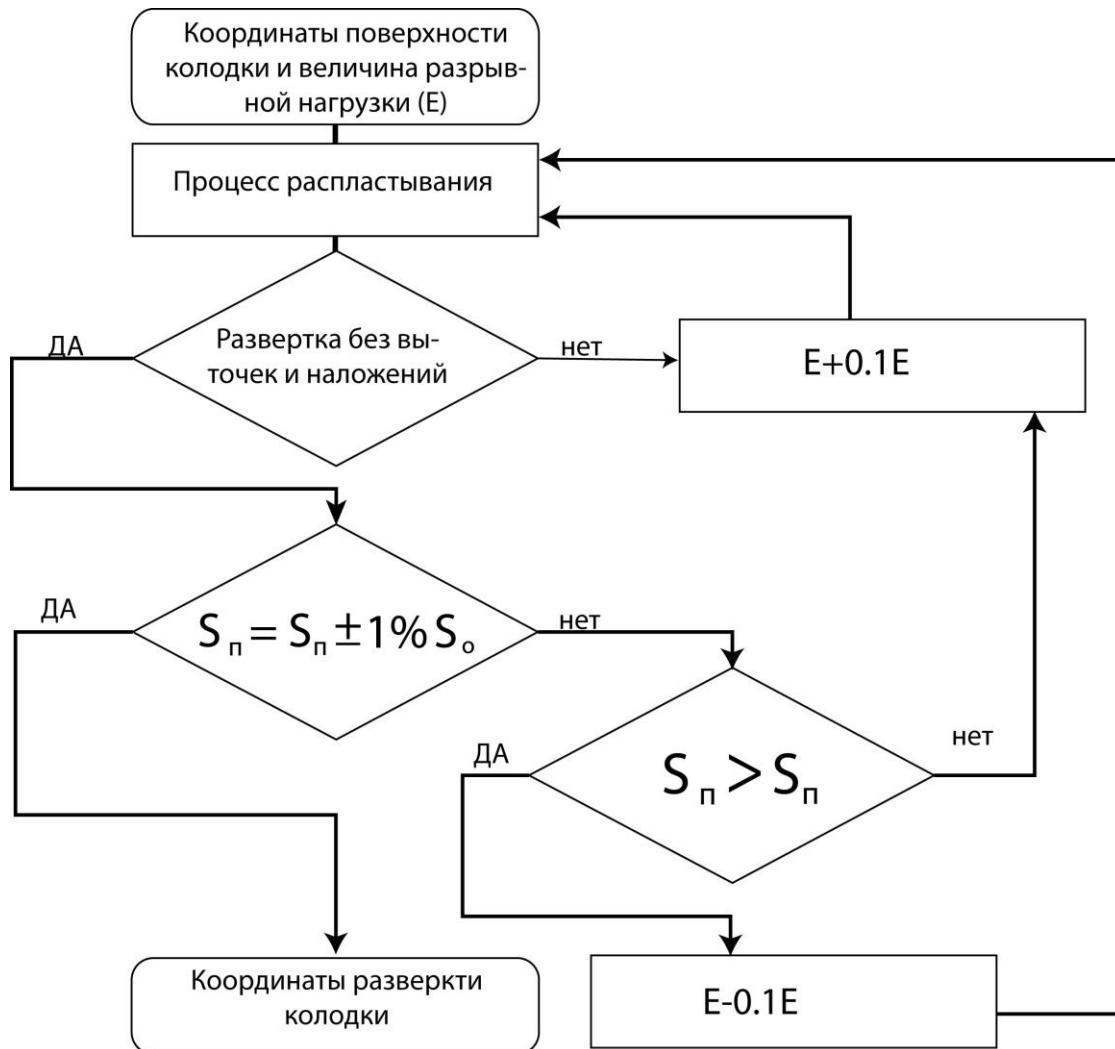


Рисунок 2. Алгоритм построения УРК в 3D, где S_n – площадь развертки, S_0 – площадь объемной поверхности колодки, E – величина разрывной нагрузки

Проведена успешная экспериментальная проверка способа получения УРК в 3D-формате (рис.3.) Построенная развертка проверена по следующим критериям: соответствие площади развертки исходной поверхности колодки, соответствие длин кривых, являющихся контурными по отношению к исходной поверхности, коэффициент посадки носка.

Точность получения УРК подтверждена известной методикой построения схематичной характеристики поверхности колодки (СХПК), предложенной В.А. Апанасенко. Полученная в результате распластывания развертка является условной разверткой поверхности и подходит для дальнейшего проектирования различных моделей обуви. Площадь полученной развертки боковой поверхности колодки отличается от площади объемной поверхности не более чем на 1%. Алгоритм получения развертки боковой поверхности колодки автоматизирован и интегрирован в САПРО-3D. Для автоматизированной разметки УРК основными базисными и вспомогательными линиями разработаны дополнительные команды.

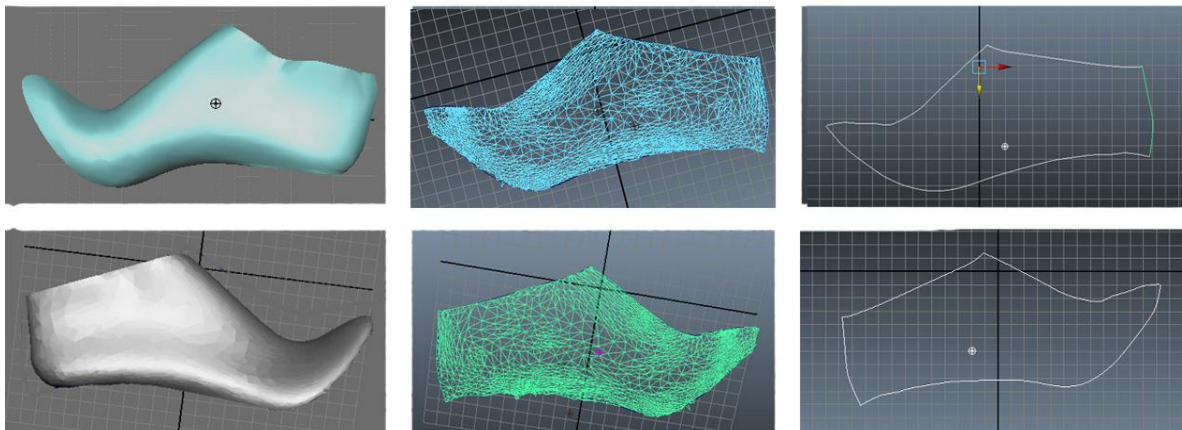


Рисунок 3. Трехмерные модели поверхности в объеме (справа), распластанные поверхности (по центру) и контуры внутренней и внешней поверхностей колодок

Для корректировки на толщину внутренних и промежуточных деталей верха, предложены формулы, отражающие коэффициент масштабирования трехмерной модели колодки. Для программной реализации этих данных автором были получены коэффициенты масштабирования для пяточной ($K_{п.ч.}$), геленочно-пучковой ($K_{г.ч.}$) и носочной части ($K_{н.ч.}$) трехмерной модели колодки. Для пяточной части коэффициенты рассчитываются для осей x (по длине) и y (по ширине).

$$K^x_{п.ч.} = \frac{T_{п.ч.} + 0.3D}{0.3D}; \quad (2)$$

$$K^y_{п.ч.} = \frac{2T_{п.ч.} + 0.18D}{0.18D}, \quad (3)$$

где $T_{п.ч.}$ - суммарная толщина материалов в пяточной части;
 D – длина стопы в миллиметрах.

Для геленочно-пучковой части логично вместо длины, рассматривать высоту и ширину, на которую изменится колодка за счет внутренних и промежуточных материалов ($K^z_{г.ч.}$) и ($K^y_{г.ч.}$)

$$K^z_{г.ч.} = \frac{T_{г.ч.} + H(0.41D)}{H(0.41D)}; \quad (4)$$

$$K^y_{г.ч.} = \frac{2T_{г.ч.} + 0.41D}{0.41D}, \quad (5)$$

где $T_{г.ч.}$ - суммарная толщина материалов в геленочной части;

D – длина стопы в миллиметрах;

$H(0.41D)$ – расстояние характеризующие высоту геленочно-пучковой части в сечении $0.41D$.

Так как носочная часть претерпевает изменения по длине, высоте и ширине коэффициенты масштабирования, примут вид:

$$K^x_{н.ч.} = \frac{T_{г.ч.} + H(0.8D)}{H(0.8D)}; \quad (6)$$

$$K^y_{н.ч.} = \frac{2T_{г.ч.} + 0.8D}{0.8D}; \quad (7)$$

$$K^z_{н.ч.} = \frac{T_{г.ч.} + 0.8D}{0.8D}, \quad (8)$$

где $T_{г.ч.}$ - суммарная толщина материалов в носочной части;

$H(0.8D)$ – расстояние характеризующие высоту носочной части в сечении $0.8D$;

D – длина стопы в миллиметрах;

$H(0.41D)$ – расстояние характеризующие высоту геленочно-пучковой части в сечении $0.41D$.

Полученная исходная информация в виде трехмерной модели колодки, скорректированной с учетом толщин внутренних и промежуточных деталей верха, позволит получить более точную форму развертки.

Таким образом, трехмерная модель колодки, её УРК, скорректированная на толщину внутренних и промежуточных деталей, информация о физико-механических свойствах материалов верха находятся в одной программе. Это позволило предложить концепцию единого информационного пространства для проектирования верха обуви, оснастки и деталей низа в формате 3D с использованием технологий обратного инжиниринга.

Третья глава посвящена разработке способов проектирования различных моделей обуви в формате 3D. Рассмотрен процесс модификации носочной части колодок с использованием обратного инжиниринга (рис. 4).

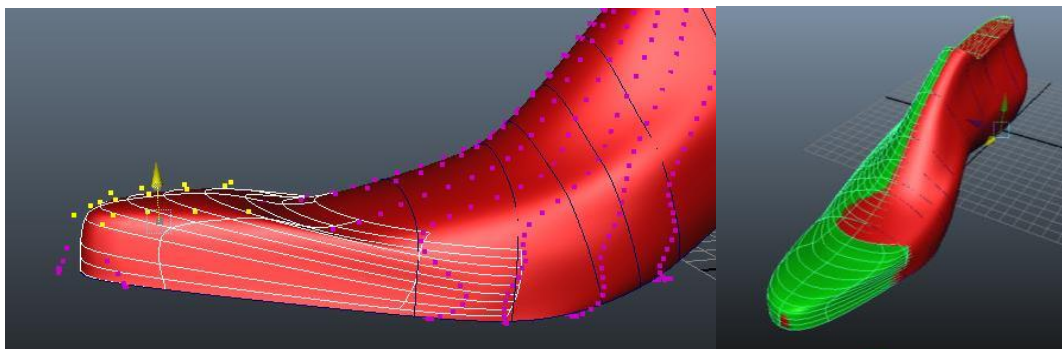


Рисунок 4. Модификация носочной части колодки

Представлен алгоритм формирования трехмерного эскиза на базе отсканированной колодки. Проработаны вопросы текстурирования и визуализации в программах трехмерного моделирования для создания фотореалистичного эскиза обуви в формате 3D (рис.5).



Рисунок 5.Текстурированный полуботинок (слева) и результат его визуализации (справа)

Разработан способ нанесения стилевых линий на поверхность колодки, с возможностью переноса их на плоскость. При этом нанесенные на колодку стилевые линии отображают контур деталей верха, а при распластывании – разворачиваются в соответствии с деформацией, происходящей в УРК (рис. 6).

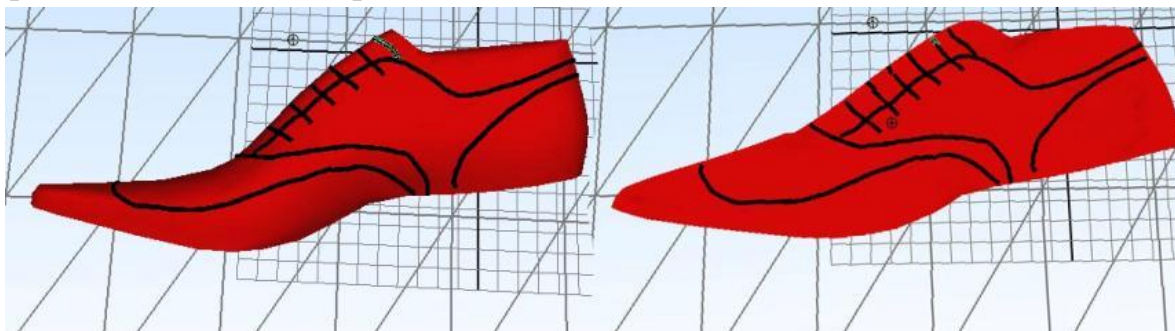


Рисунок 5.Текстурированный полуботинок (слева) и результат его визуализации (справа)

Возможна также обратная последовательность: на плоскую развертку наносят линии, которые могут быть перенесены на объемную поверхность в автоматическом режиме. Таким образом, на первом этапе проектирования получаем УРК с учетом физико-механических свойств материала верха обуви с нанесенными стилевыми линиями.

Реализация возможностей трехмерного проектирования осуществляется с помощью программы «КО-3D». Данная программа представляет собой модуль, загружаемый в «Autodesk Maya», и образующий набор инструментов для проектирования обуви. Специально для программы «КО-3D» разработана система пиктограмм, поясняющих команды. Реализован интерфейс программы «КО-3D», интегрированный в среду «Autodesk Maya» (рис.6).

Приведен полный перечень операций автоматизации, включающий 37 команд. Программа «КО-3D» является основной частью САПРО-3D.

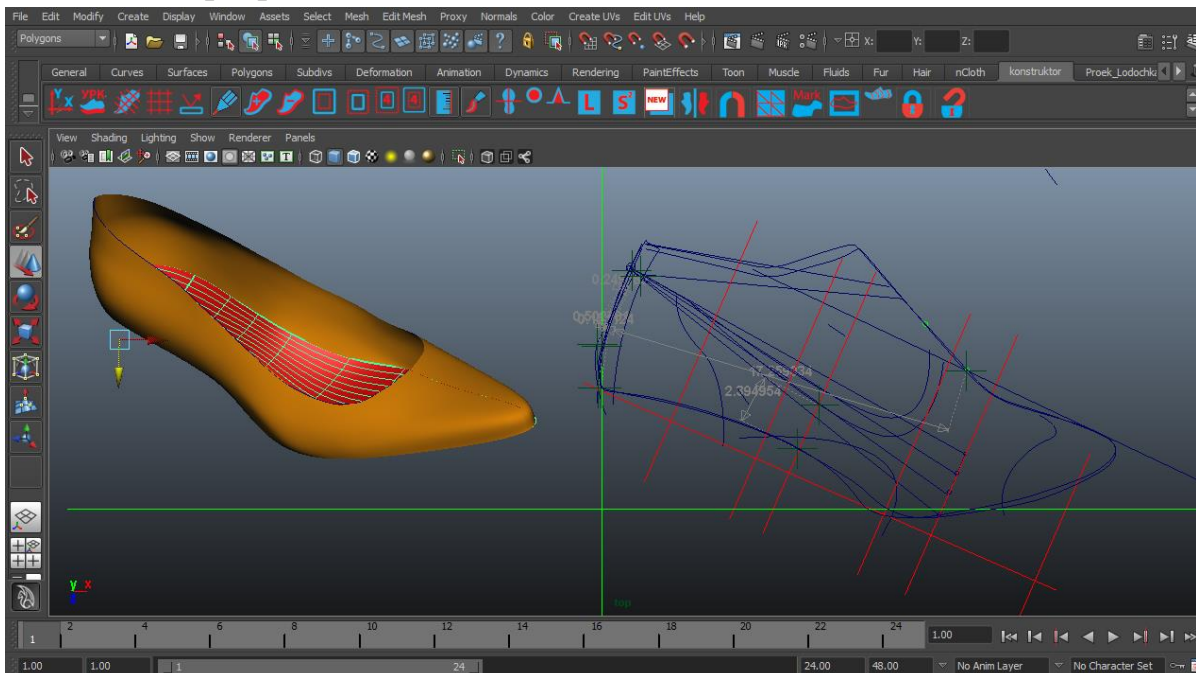


Рисунок 6. Интерфейс программы «КО-3D», интегрированный в среду «Autodesk Maya»

Представлены алгоритмы построения моделей обуви с различной степенью пространственности заготовок верха в трехмерной среде с использованием программы «КО-3D». Описано проектирование полуботинка с настрочными берцами на базе УРК. Представлен подробный алгоритм проектирования туфель «лодочка». Для проектирования мокасин в трехмерной среде предлагается использовать методику, аналогичную методике МТИЛП. При маркировке деталей

предлагается использовать иерархический подход при формировании названия. Помимо универсальных команд, позволяющих вести проектирование любой модели, созданы так называемые «линейные» алгоритмы. Они позволяют быстро построить конструктивную основу типовой конструкции обуви, а затем путем модификации чертежа получить новую модель. «Линейные» алгоритмы разработаны для полуботинок, туфель «лодочка» и мокасин.

В ходе экспериментальной проверки работоспособности программы «КО-3D» изготовлен опытный образец полуботинка женского с настрочными берцами, на кожаной подкладке, с высотой приподнятости пяточной части 60 мм. Затяжка на колодке не выявила дефектов проектирования, а внешний вид образца соответствует эстетическим и технологическим требованиям. Для изготовления макета подошвы предложено использовать оборудование быстрого прототипирования. Экспериментальная проверка выявила возможность практической реализации САПРО-3D.

Четвертая глава посвящена экономическому обоснованию внедрения САПРО 3-D в обувное производство.

Рассмотрены основные источники повышения эффективности проектных работ при внедрении САПРО-3D в обувное производство, в частности:

- автоматизация процессов проектирования;
- замещение натуральных испытаний математическим моделированием;
- создание единой электронной базы данных, включающей модели обуви, колодок, деталей низа и материалов верха;
- создание трехмерных фотореалистичных моделей на стадии разработки дизайна изделия;
- изготовление макетов обуви, колодок и деталей низа с использованием технологии быстрого прототипирования;
- повышение качества проектируемых изделий.

Произведен сравнительный анализ проектирования обуви в САПРО-3D с традиционными алгоритмами 2D-систем. Сопоставлены такие показатели, как:

- временные затраты при проектировании модели обуви в САПРО-3D и 2D;
- материальные затраты на функционирование САПРО-2D и 3D;

- материальные затраты на изготовление опытного образца и его последующий запуск в серийное производство в САПРО-3D и 2D;

Сравнительный анализ продемонстрировал преимущества использования 3D систем перед 2D по ряду показателей. К преимуществам использования САПРО - 3D следует отнести:

- сокращение материальных затрат на выпуск новой продукции, благодаря снижению количества отшиваемых опытных образцов
- расширение электронных баз данных;
- сокращение временных затрат при разработке новой модели, за счет смещения сроков автоматизации на начальные этапы разработки и интеграции в единую информационную среду верха и оснастки обуви.

- повышение точности процесса проектирования;

К отрицательным сторонам САПРО - 3D следует отнести:

- повышение стоимости используемого оборудования;
- необходимость обучения персонала новым приемам и методам работы.

Рассмотрены основные методы определения экономического эффекта от внедрения САПРО-3D: качественные, вероятностные и финансовые.

На базе финансового метода произведен расчет основных экономических показателей предлагаемой нами САПРО-3D: чистая приведённая стоимость (NPV), годовая экономия, годовые текущие затраты, себестоимость машино-часа работы, показатель простой нормы прибыли PL. По итогам расчетов доказана экономическая эффективность инвестирования в САПРО-3D.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

Результатом проведенных в диссертации исследований является повышение качества и эффективности проектирования обуви, создание методики проектирования обуви в формате 3D с учётом физико-механических свойств материалов и формирование новой системы автоматизированного проектирования включающей обратный инжиниринг. Для реализации 3D-проектирования обуви адаптированы многофункциональные программы трехмерного моделирования и связаны в единую информационную систему данные о технологической оснастке, свойствах материала верха обуви и конфигурации деталей. При этом

задействована технология трехмерного лазерного сканирования и быстрого прототипирования. Результаты диссертационной работы сформулированы в виде рекомендаций и следующих выводов.

1. По результатам проведенного анализа существующих систем автоматизированного проектирования выявлено, что ведущие мировые производители активно используют 3D формат. При этом отечественные системы трехмерного моделирования обуви на рынке не представлены. Поэтому разработка системы автоматизированного проектирования обуви в формате 3D является актуальной задачей, характеризуется научной новизной и практической значимостью. Внедрение САПР, поддерживающих 3D-формат, способствует росту качества производимой обуви и повышению уровня конкурентоспособности российской обувной промышленности в целом.

2. Проведен сравнительный анализ функционирования САПРО-2D и САПРО-3D на основе разработанных структурно-логических схем. Выявлены наиболее предпочтительные пути расширения автоматизации процессов проектирования обуви.

3. Разработана структурно-логическая схема системы автоматизированного проектирования обуви САПРО-3D, включающая использование современного оборудования - трехмерных лазерных сканеров и прототипирующих устройств.

4. Разработан механизм интеграции оборудования для быстрого прототипирования в процесс проектирования обуви. Сформулированы рекомендации по подбору оборудования на основании анализа технических характеристик и используемых материалов.

5. Разработана концепция единого информационного пространства для проектирования верха обуви, деталей низа и оснастки. Доказана целесообразность и практическая возможность проектирования деталей низа обуви и соответствующей оснастки на базе отсканированной колодке.

6. Исследованы сложно-пространственные формы колодки, способы её математического описания, сплайнового и полигонального моделирования. Обосновано, что для обеспечения точности проектирования необходимо использование трехмерного моделирования на основе неоднородных рациональных бикубических сплайнов, а наиболее предпочтительным форматом является STL.

7. Разработан способ получения УРК с учетом физико-механических свойств материалов верха, (заявка на патент РФ № 2013147661 от

25.10.2013). В основу данной методики положено математическое описание деформаций обувных материалов и элементы теории о развертках сложно-пространственной поверхности. Методика экспериментально проверена и снижает погрешности при получении УРК с 4 до 1%.

8. Создана программа «КО-3D», позволяющая автоматизировать процесс проектирования обуви в трёхмерном формате на базе предварительно отсканированной колодки. Получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014615598. Для «КО-3D» разработан интерфейс и руководство пользователя, описаны этапы проектирования обуви с различной степенью пространственности.

9. Выработана методика проектирования обуви в 3D-формате с различной степенью пространственности заготовки верха, включающая в себя элементы проектирования на основе УРК и жесткой оболочки.

10. Разработан план внедрения САПРО-3D в существующую модель обувного производства. В рамках данного плана сформулированы ключевые этапы внедрения, а также мероприятия, необходимые для успешного завершения этапа. Доказана целесообразность внедрения САПРО 3D в обувное производство на основании расчёта основных показателей экономической эффективности.

11. Разработанная САПРО -3D прошла опытную апробацию на ведущих отечественных предприятиях. В результате апробации установлено, что САПРО -3D:

- отвечает современным технологическим требованиям производства обуви;
- позволяет создать фотореалистичную трехмерную модель будущей модели;
- сокращает сроки проектирования новых моделей обуви;
- автоматизирует рутинные расчетные операции, осуществляемые модельером в процессе конструирования обуви.

ОПУБЛИКОВАННЫЕ РАБОТЫ ПО ТЕМЕ ДИСЕРТАЦИИ

Научные статьи, опубликованные в изданиях, рекомендованных ВАК

1. Ильюшин С.В. Перспективы использования технологии быстрого прототипирования в обувной промышленности [Текст] / С.В. Ильюшин // Кожевенно-обувная промышленность. – 2013, №1. С. 28-29. (0.5 п. л.).

2. Ильюшин С.В. Проектирование обуви в формате 3-D с использованием технологий обратного инжиниринга [Текст] / С.В. Ильюшин, В.А. Фукин, И.И. Довнич // Естественные и технические науки. – 2012, № 6 (62). С. 275-278 (0,4 п.л./ 0,15 п.л.).
3. Ильюшин С.В. Использование 3- D моделирования для получения развертки боковой поверхности колодки [Текст] / С.В. Ильюшин, В.С. Белгородский, И.И. Довнич // Естественные и технические науки. – 2014, № 2 (70). С.187-190 (0,3 п.л./ 0,1 п.л.)

Статьи в сборниках научных трудов, конференций и семинаров

4. Ильюшин С.В. Эскизное проектирование обуви в программах 3- D моделирования с использованием текстурирования и визуализации [Текст] / С.В. Ильюшин, В.С. Белгородский, И.И. Довнич // Сборник научных трудов вузов УМО легкой промышленности "Памяти В.А. ФУКИНА посвящается". – 2014. С. 234-235. (0,3 п. л./ 0,12 п. л.)
5. Ильюшин С.В. Разработка методики проектирования обуви в формате 3-D с использованием технологий обратного инжиниринга [Текст] / С.В. Ильюшин, В.С. Белгородский, И.И. Довнич // сборник тезисов: Казанский государственный технологический университет. – 2014. С.76. (0,35 п. л./ 0,15 п. л.)

Заявка на выдачу патента, свидетельство

6. Ильюшин С.В., Белгородский В.С., Довнич И.И. Методика получения развертки боковой поверхности колодки. Заявка на изобретение № 2013147661 от 25.10.2013.
7. Ильюшин С.В. Белгородский В.С., Довнич И.И. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 20144615598. КО-3D // – МГУДТ; заявл. 01.03.2014 ; зарег. 29.05.2014.

Ильюшин Сергей Владимирович

**Разработка методики проектирования обуви в формате 3D с
использованием технологий обратного инжиниринга**

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Усл. печ. 1,0 п.л. Тираж 80 экз. Заказ № _____
Редакционно-издательский центр МГУДТ
117997, Москва, ул. Садовническая, 33, стр. 1
тел./ факс: (495) 955-35-88
e-mail: riomgudt@mail.ru
Отпечатано в РИО МГУДТ