

На правах рукописи



Гусев Александр Олегович

**РАЗРАБОТКА КОНЦЕПЦИИ СИСТЕМЫ
АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОБУВИ С
ПРИМЕНЕНИЕМ ОБЛАЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

**Специальность 05.19.05 –
«Технология кожи, меха, обувных и кожевенно-галантерейных
изделий»**

**АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

Москва – 2022

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)» (ФГБОУ ВО «РГУ им. А.Н. Косыгина») на кафедре Художественного моделирования, конструирования и технологии изделий из кожи

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор кафедры Художественного моделирования, конструирования и технологии изделий из кожи ФГБОУ ВО «РГУ им. А.Н. Косыгина»
Костылева Валентина Владимировна

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор кафедры «Конструирование, технологии и дизайн», Институт сферы обслуживания и предпринимательства (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Донской государственный технический университет» в г. Шахты Ростовской области

Черунова Ирина Викторовна
кандидат технических наук, доцент кафедры «Промышленный дизайн», федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский государственный университет архитектуры, дизайна и искусств имени А.Д. Крячкова», г. Новосибирск
Таубе Марика Владимировна

Ведущая организация: Учреждение образования «Витебский государственный технологический университет», г. Витебск, Республика Беларусь

Защита состоится «30» марта 2022 г. в 10.00 ч. на заседании диссертационного совета Д 212.144.01, созданного на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)» по адресу: 119071, г. Москва, ул. Малая Калужская ул., д. 1.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «РГУ им. А.Н. Косыгина» и на официальном сайте вуза <https://kosygin-rgu.ru/>

Автореферат разослан «__» _____ 2022 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д 212.144.01



Мезенцева Т.В.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Обувная промышленность является значимой отраслью национальной экономики, она играет важную роль в обеспечении стабильного экономического роста и направлена на улучшение качества жизни населения. Для решения проблем отрасли Министерством промышленности и торговли разработана Стратегия развития легкой промышленности в Российской Федерации на период до 2025 года, в которой выделена необходимость совершенствования организации производства путем внедрения новых цифровых технологий и инноваций. Цифровая трансформация в числе Национальных целей, объявленных в Указе Президента РФ от 21.07.2020 N 474 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года».

Сегодня для удовлетворения потребностей клиентов и сохранения конкурентоспособности, производители обуви должны решать две основные задачи: быстро реагировать на рыночные изменения и соответствовать новым потребительским тенденциям. Одним из решений этих задач является применение систем автоматизированного проектирования (САПР), позволяющих упростить процессы конструирования и моделирования, сокращая время на разработку новой продукции.

В 2020 году мировую экономику потрясло воздействие COVID-19. В первый год пандемии были введены жесткие ограничительные меры, за которыми последовала приостановка большинства производств и освоение дистанционного режима работы. Сегодня многие из введенных ограничений сняты, однако Правительство время от времени возвращается к ним в зависимости от состояния эпидемиологической ситуации. Из-за этого множество компаний не возвращается к привычному режиму работы.

Современные САПР обуви открыты для совершенствования возможностей организации дистанционного режима работы. Системы лицензируются по традиционной модели, которая включает в себя защиту от копирования в виде аппаратного ключа. Это создает риски для ее портативности – утрата ключа равносильна покупке новой программы. Используемые распространенными САПР обуви методы оцифровки неэффективны в условиях дистанционного режима работы.

Решением проблем стали облачные технологии, которые сегодня активно развиваются. Облачные приложения распространяются по модели Software as a Service. В рамках этой модели программное обеспечение располагается на удаленном облачном сервере поставщика, а пользователи получают к нему доступ через веб-интерфейс с любого устройства и операционной системы. Модель экономически выгодна как для поставщика, так и для пользователя.

Крупные разработчики САПР общего назначения (Autodesk и Dassault Systemes) с 2012 года постепенно внедряют облачные технологии в свои системы. Однако, используются облачные технологии, преимущественно для хранения данных, так как перенести всю систему в «облако» без глобальных изменений в кодовой базе невозможно. Настоящим прорывом стала система твердотельного проектирования OnShape, которая продемонстрировала возможности веб-технологий в области высокой графической нагрузки.

Сегодня не представлено ни одной облачной системы автоматизированного проектирования, решающей конструкторские задачи обувного производства. Существующие облачные САПР общего назначения направлены на твердотельное моделирование, не подходящее для проектирования обуви. В этой связи работа «Разработка концепции системы автоматизированного проектирования обуви с применением облачных технологий» является актуальной. Она отвечает Стратегии национальной безопасности Российской Федерации, Стратегии развития информационного общества в Российской Федерации, а также Указу Президента РФ от 1 декабря 2016 г. № 642 «О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации».

Степень научной разработанности проблемы. Существенный вклад в решение проблем развития и совершенствования проектирования и производства обуви, повышения ее эргономических показателей качества внесли Зыбин Ю.П., Ключникова В.М., Кочеткова Т.С., Калита А.Н., Фукин В.А., Лыба В.П., Горбачик В.Е., Бекк Н.В., Карабанов П.С. и др., в научных трудах которых разработаны методологические основы создания конструкций обуви, методы и средства их оценки, в том числе с использованием цифровых, компьютерных и информационных технологий.

Диссертационная работа отвечает формуле специальности 05.19.05 – «Технология кожи, меха, обувных и кожевенно-галантерейных изделий» – «...сложившаяся область науки и техники, включающая в себя изучение и теоретическое обоснование сущности и способов изготовления изделий легкой промышленности, обладающих необходимыми эксплуатационными и эстетическими свойствами».

В части области исследований диссертационная работа соответствует п. 12 «Разработка теоретических основ проектирования обуви, кожгалантереи и других изделий из кожи, в том числе автоматизированного» и п. 14 «Разработка теоретических основ информационных технологий в кожевенно-обувной промышленности, направленных на разработку САПР и АСУ ТП» паспорта научной специальности 05.19.05 – «Технология кожи, меха, обувных и кожевенно-галантерейных изделий».

Объект исследования – процессы проектирования конструкций обуви, системы автоматизированного проектирования изделий обувной и кожевенно-галантерейных изделий, облачные технологии.

Предмет исследования – структуры систем автоматизированного проектирования конструкций обуви и кожевенно-галантерейных изделий.

Целью диссертации является разработка концепции системы автоматизированного проектирования обуви с применением облачных технологий.

В соответствии с поставленной целью в диссертации:

- проведен анализ:
 - актуальных проблем САПР обуви;
 - возможностей облачных технологий для решения выявленных проблем САПР обуви;
 - технической составляющей облачной САПР обуви;
 - распространенных архитектурных шаблонов и их пригодность для разработки облачной САПР обуви;
- разработана архитектура облачной САПР обуви, включающая описание базовых компонентов: ядра, модуля, их структуру и способ взаимодействия;
- предложен способ реализации ядра системы, для которого разработаны:
 - подсистемы ядра: движок, конфигурация, репозитории локальных и общих временных файлов, репозиторий сервисов, реестры внутренних и внешних сервисов, подсистема запуска модулей, обработчик запросов, контейнер очереди запросов, сервер, логгер, подсистемы мониторинга и обеспечения контроля доступа;
 - пошаговый процесс осуществления аутентификации входящего запроса;
 - структуры данных для описания модулей и пересылаемых сообщений;
 - формы конфигурации ядра и сервисов, описываемых текстовым форматом JSON;
 - алгоритмы синхронной и асинхронной обработки входящих сообщений, обработки собственно сообщения, формирования и отправки ответного сообщения;
- разработан метод оцифровки чертежа с использованием средств технического зрения, для которого:
предложены:
 - этапы оцифровки – калибровка камеры, подготовка изображения, векторизация;
 - способ калибровки камеры при помощи открытой библиотеки обработки изображений OpenCV;

- алгоритм подготовки изображения к оцифровке с использованием реперных точек и библиотеки OpenCV;

разработаны:

- сервис управления камерами, выполняющий калибровку камеры, и контроль за данными, полученными в результате калибровки;
- сервис оцифровки, реализующий предложенные процедуры подготовки изображения к обработке;
- алгоритмы обработки сообщений модулями управления камерами и оцифровки;
- разработаны модели проектных данных системы и сервис их обработки;
- предложен класс систем управления базами данных для хранения проектных данных;
- сформулированы направления развития концепции облачной САПР обуви.

Исследования проводились на кафедре Художественного моделирования, конструирования и технологии изделий из кожи в рамках тематического плана НИР (2014-2018 г.), проблема 2 «Проблемно-ориентированные исследования в области перспективных технологий и дизайна», (тема 2.3 «Совершенствование методов компьютерного дизайна и проектирования, а также в рамках научно-исследовательских работ ФГБОУ ВО «РГУ им. А.Н. Косыгина» на 2019-23 г.г., проблема 1 «Матричный подход к формированию цифровой индустрии 4.0 на промышленных предприятиях текстильной и легкой промышленности», Тема 1.2 «Развитие инновационного потенциала предприятий по производству изделий из кожи на основе современных цифровых технологий проектирования и быстрого прототипирования».

Методы исследования и технические средства решения задач.

Исследования базировались на комплексном подходе с использованием возможностей современных информационных технологий. В ходе выполнения работы использованы теоретические положения конструирования обуви и разработки информационных систем, теория построения облачных систем.

Информационно-теоретической базой диссертации послужили труды отечественных и зарубежных ученых в исследуемой и смежных областях, энциклопедическая и справочная литература, конструкторско-технологическая документация.

В работе использовались следующие технические средства:

- система автоматизации процессов проектирования и разработки программного обеспечения Modelio;
- интегрированная среда разработки Visual Studio;
- система контейнеризации Docker;

- система оркестрации контейнеров Kubernetes;
- система тестирования сетевых программных интерфейсов Postman;
- система автоматизации развертывания облачных систем Terraform.

Научную новизну исследования составляют:

- концепция системы автоматизированного проектирования обуви с использованием облачных технологий, включающая разработку:
 - базовых компонентов облачной САПР обуви;
 - архитектуры, позволяющей ускорить разработку облачной САПР обуви и максимизировать эффективность применения облачных технологий;
 - спецификации ядра облачной САПР обуви, описывающей внутреннюю структуру и методы взаимодействия с другими компонентами;
 - спецификации модуля оцифровки облачной САПР обуви с использованием средств технического зрения, включающий описание внутренней структуры модуля и метода взаимодействия с другими компонентами;
 - модели проектных данных, в равной мере эффективных как для хранения данных в базе, так и взаимодействия со сторонними системами и отображения на экране;
- сформулированные направления развития концепции облачной САПР обуви.

Практическую значимость диссертации составляют разработанные:

- архитектура облачной САПР обуви, включающая:
 - компоненты системы и их композицию;
 - способ взаимодействия между компонентами;
- метод оцифровки в модуле облачной САПР обуви с применением средств технического зрения.

Достоверность проведенных исследований базируется на согласованности аналитических и экспериментальных результатов, использовании информационных технологий, современных методов и средств проведения исследований. Апробация основных положений диссертации производилась в научной периодической печати, конференциях, в рамках научного проекта (грант ректора ФГБОУ ВО «РГУ им. А.Н. Косыгина» 2019-2020 г.г.) «Цифровизация и обработка чертежей конструкций верха обуви с использованием средств технического зрения», а также на АО «Егорьевск-обувь».

Основные положения, выносимые на защиту:

- архитектура облачной САПР обуви, определяющая композицию и способ взаимодействия компонентов системы;
- спецификация ядра облачной САПР обуви;

- спецификация сервиса облачной САПР обуви;
- метод оцифровки чертежа с использованием средств технического зрения;
- расширяемая иерархичная модель данных, описывающая конструкции верха обуви.

Личный вклад автора. Автором сформулированы цель и основные задачи исследования, проанализированы распространенные САПР обуви, выявлены их проблемы, требования к распределенным и облачным системам; рассмотрены перспективы применения облачных технологий для устранения существующих проблем САПР обуви; определен архитектурный стиль системы, предложены инструменты реализации концепции САПР обуви на основе облачных технологий.

Апробация и реализация результатов работы.

Основные научные результаты проведенных исследований докладывались и получили положительную оценку на заседаниях кафедры художественного моделирования, конструирования и технологии изделий из кожи ФГБОУ ВО «РГУ им. А.Н. Косыгина», международной научно-практической конференции «Фундаментальные и прикладные проблемы создания материалов и аспекты технологий текстильной и легкой промышленности», 14–15 ноября Казань 2019, научно-практической международной конференции «Эргодизайн как инновационная технология проектирования изделий и предметно-пространственной среды: инклюзивный аспект», 23 марта Москва 2019, Международном научно-техническом симпозиуме, Международного Косыгинского Форума 29 октября, Москва 2019, Всероссийской научной конференции молодых исследователей с международным участием, посвященной Юбилейному году в ФГБОУ ВО «РГУ им. А.Н. Косыгина»: Инновационное развитие техники и технологий в промышленности (ИНТЕКС-2020), 14 – 16 апреля, Москва 2020, Международной научно-технической конференции: «Дизайн, технологии и инновации в текстильной и легкой промышленности (ИННОВАЦИИ-2020)» 12 ноября, Москва 2020, Международной конференции: Концепции, теория, методики фундаментальных и прикладных научных исследований в области инклюзивного дизайна и технологий 25-27 марта Москва, 2020, 72-ой Внутривузовской научной студенческой конференции «Молодые ученые – инновационному развитию общества (МИР-2020)», посвященной юбилейному году в РГУ им. А.Н. Косыгина (16-20 марта), Москва, 2020, Международной научно-практической конференции «Фундаментальные и прикладные научные исследования в области инклюзивного дизайна и технологий: опыт, практика и перспективы» (24 – 26 марта 2021 г.), Москва, 2021. Международном научно-техническом симпозиуме «Современные инженерные проблемы в производстве

товаров народного потребления» III Международного Косыгинского Форума «Современные задачи инженерных наук» (20-21 октября 2021 года). Получено Свидетельство Федеральной службы по интеллектуальной собственности о государственной регистрации программы для ЭВМ «Вычислительный сервис облачной системы автоматизированного проектирования обуви Calceus» № 2021615416 (Дата публикации: 07.04.2021) (Приложение В). Дипломы ряда конференций различного уровня свидетельствуют о состоятельности предлагаемых в диссертации решений.

Публикации. Основные положения диссертации отражены в 14 печатных работах, 3 из которых опубликованы в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК при Минобрнауки России.

Структура и объем работы. По своей структуре диссертация состоит из введения, 3-х глав, выводов по главам и работе в целом, списка литературы, приложений. Работа изложена на 184 страницах машинописного текста, включает 34 рисунка, 2 таблицы. Список использованной литературы содержит 228 наименований библиографических и электронных источников. Приложения представлены на 6 страницах.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, обозначены цели и задачи исследований, отражены научная новизна и практическая значимость работы.

В первой главе рассмотрена проблема удаленного режима работы при конструкторской подготовке обувного предприятия. Для выявления организационно-технических проблем, препятствующих введению такого режима работы, проведен анализ распространенных САПР обуви, который показал, что основными препятствиями их применения в удаленном режиме, являются:

- высокая стоимость систем;
- использование аппаратного ключа защиты дистрибутива САПР, потеря которого приводит к покупке новой системы;
- низкая эффективность существующих методов оцифровки для применения в домашних условиях, так как требуют покупки дорогостоящего дигитайзера под каждое рабочее место;
- оцифровка по изображению контуров лекал, а не чертежа.

Показано, что в области машиностроения проблемы стоимости и защиты дистрибутива САПР решены за счет применения облачных технологий. Вместе с тем решены и другие проблемы, свойственные десктопным программным системам: кроссплатформенность, установка и обновление системы без участия пользователей.

Анализ технической составляющей облачных информационных систем показал необходимость переработки всей кодовой базы САПР обуви для эффективного применения облачных технологий. Разработка ее серверной части представляет наибольшую трудность, неэффективное разрешение которой окажет негативное влияние на предоставляемые облачными технологиями преимущества. В связи с этим, предложено заложить в основу концепции облачной системы автоматизированного проектирования обуви описание компонентов структуры системы, их взаимосвязей и выполняемых ими функций.

Высокая производительность облачной САПР обуви допускает применение алгоритмов, требовательных к вычислительным мощностям. Для повышения эффективности модуля оцифровки предложено использовать средства технического зрения.

Во второй главе рассмотрено понятие архитектуры, представлено описание структуры облачной САПР обуви, показано ее влияние на скорость разработки и качество системы в целом. Рассмотрено понятие модуля и причины разделения системы на модули. Предложены базовые функциональные модули облачной САПР обуви:

- модуль управления пользователями;
- модуль управления проектами, для решения задачи создания и редактирования общих данных о моделях обуви;
- модуль моделирования;
- модуль градирования;
- модуль раскроя;
- модуль импорта проектных данных;
- модуль оцифровки;
- модуль экспорта проектных данных.

Спроектированы и проанализированы структуры облачных САПР обуви, построенных с применением монолитного, микроядерного, сервис-ориентированного, и микросервисного архитектурных шаблонов. Проведена оценка архитектур по показателям качества, влияющих на скорость разработки и эффективность в условиях облачной среды (таб. 1). Исходя из оценок показано, что архитектура облачной САПР обуви должна быть изменяемой, чтобы обеспечить ее внедрение в существующий процесс конструирования предприятий. Такой подход позволяет нейтрализовать разрушительное влияние частых изменений функционала системы на ее архитектуру.

Предложена гибридная архитектура облачной САПР обуви, в которой модуль и ядро обеспечивают изменяемость как функционала системы, так и ее архитектуры.

В третьей главе представлена разработка ядра и модуля оцифровки облачной САПР обуви.

Для построения ядра сформированы следующие подсистемы:

- движок ядра, обеспечивающий координацию модулей;
- интерфейс предоставления унифицированного доступа к конфигурации ядра;
- локальное хранилище временных файлов на вычислительном узле;
- глобальное хранилище файлов доступных всем вычислительным узлам;

Таблица 1. Показатели анализа и оценки архитектур облачных САПР обуви

Показатель	Архитектура			
	Монолитная	Микроядерная	Сервис-ориентированная	Микросервисная
	Оценка сложности			
Построение инфраструктуры	Низкая	Средняя	Высокая	Высокая
Разработка модулей	Высокая	Низкая	Низкая	Низкая
Сопровождение	Высокая	Средняя	Средняя	Низкая
Отладка и тестирование	Низкая	Высокая	Высокая	Высокая
Развертывание	Низкая	Низкая	Средняя	Средняя
Эффективность масштабируемости	Низкая	Средняя	Высокая	Высокая
Эффективность отказоустойчивости	Низкая	Средняя	Средняя	Высокая
Производительность	Высокая	Средняя	Низкая	Низкая
Интеграция со сторонними системами	Высокая	Высокая	Низкая	Низкая

- репозиторий сервисов системы, которые могут быть подключены к ядру в вычислительном узле;
- компонент регистрации внутренних сервисов в ядре;
- информатор о сервисах, подключенных в других вычислительных узлах;
- подсистема запуска сервиса и контроля его ресурсов;
- компонент обработки запросов, координирующий сообщения между сервисами;
- очередь сообщений, временно удерживающая запросы во время высоких нагрузок;
- сервер для взаимодействия с пользователем и ядрами на других вычислительных узлах;

- подсистема создания и хранения логов – файлов, содержащих системную информацию о работе ядра;
- компонент подсчета метрик системы, таких как: количество успешных запросов, количество ошибок, средняя и максимальная нагрузка на процессор, средняя и максимальное значение занимаемой оперативной памяти, и т.д.;
- подсистема обеспечения контроля доступа к сервисам;

Для построения модуля оцифровки предложен метод автоматической обработки изображения чертежа средствами технического зрения. В качестве устройства получения изображения рекомендовано использовать камеру смартфона. Разработан алгоритм обработки изображений для последующей векторизации, состоящий из нескольких этапов. Первый этап – подготовка чертежа. Для определения положения, границ и масштаба чертежа предписывается размещение реперных маркеров на изображении. Для идентификации все маркеры выделяются ярким, насыщенным зеленым цветом. Такой цвет является наименее встречающимся на изображении чертежа и наиболее простым для обнаружения. Маркеры необходимо расставлять по границам чертежа в форме прямоугольника через равное расстояние. Угловые реперные точки позволяют определить границы чертежа, а промежуточные – его масштаб (рис. 1).

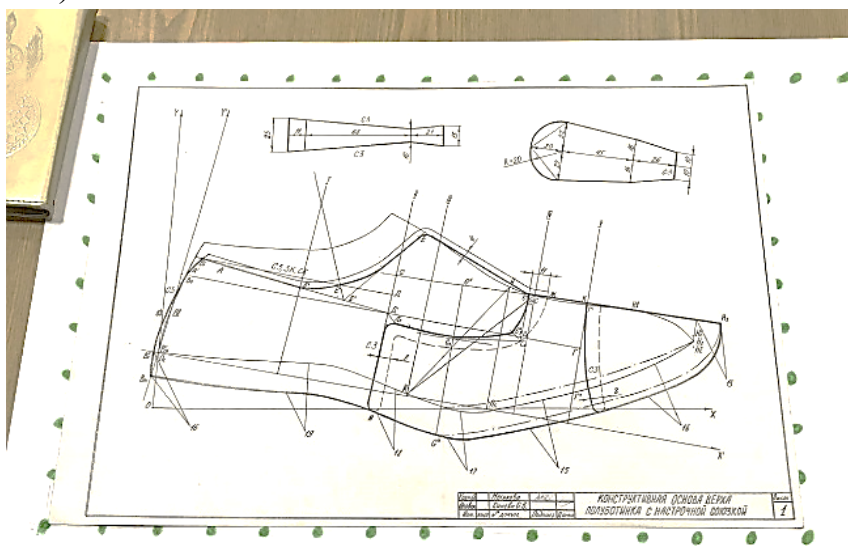


Рисунок 1. Размещение реперных точек на полотне под чертежом

Второй этап – улучшение видимости элементов изображения. Для этого выполняется корректировка яркости и контраста техникой выравнивания гистограммы изображения, после которой все цветовые уровни яркости будут иметь приблизительно одинаковую частоту появления на изображении. Для устранения шума применяется алгоритм FNLMD (Fast Non-Local Means

Denoising), который, для принятия решения, проводит поиск схожих структур пикселей по всему изображению.

Третий этап – обнаружение реперных маркеров. Перед фильтрацией пикселей, изображение конвертируется в цветовую модель HSV, упрощающей поиск темных и светлых пикселей одного цвета. По массиву найденных точек выполняется поиск цепочек, формирующих прямоугольник границы чертежа. При решении этой задачи используется преобразования Хафа, которое позволяет найти точки, лежащие на одной прямой.

Четвертый этап – приведение изображения к реальным размерам. На этом этапе устраняются перспективные искажения, исходя из положения угловых реперных точек. Масштабирование производится на основе подсчета количества промежуточных реперных точек и заданного расстояния между ними (рис. 3).

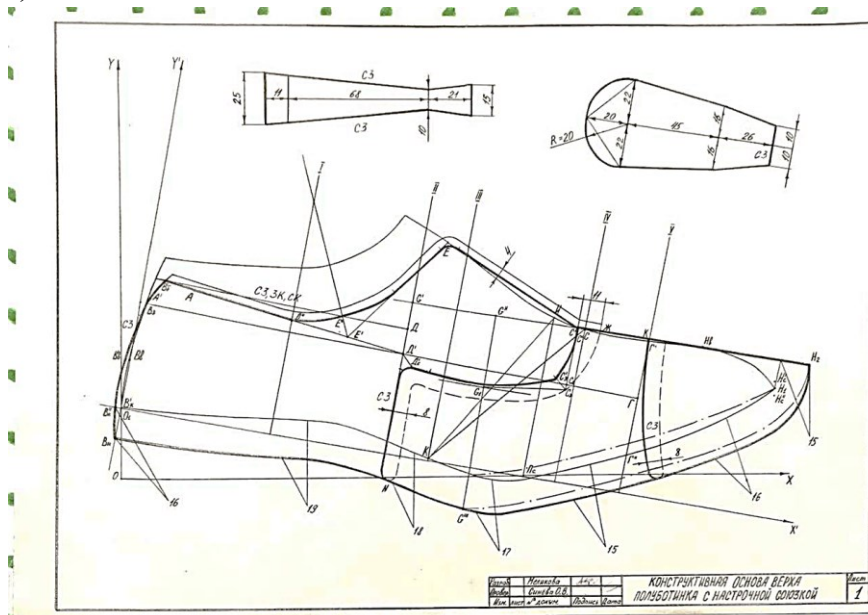


Рисунок 3. Результат восстановления перспективы

Пятый этап – устранение реперных маркеров. Найденные ранее контуры реперных точек закрашиваются цветом фона, полученным из гистограммы изображения. Показано, что качество проделанной операции не имеет значения, так как при векторизации к изображению будет применен пороговый фильтр.

Для выполнения всех этапов предварительной обработки изображения предложено использовать открытую библиотеку технического зрения OpenCV. В качестве системы векторизации предложен открытый программный комплекс Potrace.

Разработана иерархическая структура данных для хранения результатов векторизации и обмена информацией между модулями облачной САПР обуви. Для описания всей графической информации о конструкции верха обуви в системе выбран интерполяционный сплайн Catmull-Rom. Показано, что

интерполяционный сплайн Эрмита и его частный случай Catmull-Rom позволяет хранить в базе данных только ключевые точки, поэтому является компактным. Главная особенность выбранного сплайна заключается в том, что он может быть преобразован в набор кубических кривых Безье и обратно, позволяя осуществлять свободный обмен данными между облачной САПР обуви и сторонними программами, такими как системы векторизации. Объединение сплайнов в объекты, обладающие семантикой, формирует иерархию, основанную на уровнях абстракции. Наивысший уровень абстракции предполагает наличие семантики и отсутствие специального графического описания. Для сохранения разработанной структуры в базе данных предложено использовать объектно-реляционные базы данных, которые позволяют обеспечить высокую производительность, доступность и надежность для всех видов данных облачной САПР обуви. Сформулированы направления развития проведенных исследований, демонстрирующих состоятельность и перспективность представленной концепции облачной САПР обуви.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

1. Рассмотрена проблема удаленной работы в системе автоматизированного проектирования обуви. Показано, что стоимость системы, ее привязка к аппаратному ключу и низкая эффективность существующих методов оцифровки являются препятствиями для применения САПР обуви в режиме удаленного доступа. Проанализирован текущий уровень состояния современных САПР с позиций возможностей облачных технологий. Установлено, что существующие облачные САПР имеют машиностроительную направленность и не могут быть применены для проектирования обуви.
2. Показано, что достоинствами облачных САПР общего назначения перед десктопными являются кроссплатформенность, быстрое развертывание и обновление, отсутствие необходимости содержать аппаратный ключ защиты, простая интеграция с другими системами, меньшая стоимость, возможность применения технологий, требовательных к вычислительной мощности, которые позволяют повысить эффективность процесса оцифровки и решить проблему удаленного применения САПР обуви.
3. Дано общее представление об облачной САПР обуви: основные участники, их связь с моделями обслуживания и развертывания системы. Для обеспечения эффективного внедрения облачных технологий в САПР обуви и ее работы в режиме удаленного доступа предложена концепция, включающая разработку архитектуры системы, допускающая оцифровку и чертежей с использованием средств технического зрения.

4. Рассмотрены: понятие архитектуры, критерии, влияющие на процессы жизненного цикла системы, а также критерии качества. Показана необходимость модульного подхода при проектировании архитектуры. Предложены возможные модули облачной САПР обуви: управления пользователями и проектами, моделирования, градирования, раскроя, импорта, оцифровки, экспорта.
5. Проведено проектирование архитектуры облачной САПР обуви на основе шаблонов монолитной, микроядерной, сервис-ориентированной архитектур, что позволило предложить гибридную архитектуру облачной САПР обуви, которая в качестве компонентов содержит модели: ядра микроядерной архитектуры, модуля микросервисной архитектуры, взаимодействия сервис-ориентированной архитектуры. Показано, что изменение ядра системы и развертывание инфраструктурных компонентов позволяет с минимальными трудозатратами перестраивать общую форму архитектуры.
6. Предложена реализация ядра системы и разработаны:
 - подсистемы ядра: движок, конфигурация, репозитории локальных и общих временных файлов, репозиторий сервисов, реестры внутренних и внешних сервисов, подсистема запуска модулей, обработчик запросов, контейнер очереди запросов, сервер, логгер, подсистемы мониторинга и обеспечения контроля доступа;
 - пошаговый процесс осуществления аутентификации входящего запроса;
 - структуры данных для описания модулей и пересылаемых сообщений;
 - модели конфигурации ядра и сервисов, описываемых текстовым форматом JSON;
 - алгоритмы синхронной и асинхронной обработки входящих сообщений, обработки собственно сообщения, формирования и отправки ответного сообщения.
7. Разработан модуль оцифровки чертежа обуви с использованием средств технического зрения, для которого:
предложен метод оцифровки, включающий
 - этапы оцифровки – калибровка камеры, подготовка изображения, векторизация;
 - способ калибровки камеры;
 - алгоритм подготовки изображения к оцифровке с использованием реперных точек и библиотеки OpenCV;**разработан:**
 - сервис управления камерами, выполняющий калибровку камеры, и осуществляющий контроль за данными, полученными в результате калибровки;

- сервис оцифровки, реализующий предложенный метод подготовки изображения к обработке;
 - алгоритмы обработки сообщений модулями управления камерами и оцифровки.
8. Разработана модель проектных данных, иерархия которой основана на уровнях абстракции. Предложено в качестве основного графического примитива использовать сплайн Catmull-Rom для компактного хранения информации в базе данных и обеспечения конвертируемости между моделью проектных данных и сторонними системами.
9. Рассмотрев современные базы данных, их достоинства и недостатки, предложено использовать объектно-реляционную систему управления базами данных, например, PostgreSQL, которая позволяет хранить как реляционные, так и нереляционные данные.
10. Отдельные положения диссертации прошли апробацию в условиях АО «Егорьевск-обувь», результаты которой подтверждают не только эффективность предложенного метода оцифровки, но и модуля в целом.

РЕКОМЕНДАЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ

1. Результаты работы рекомендуется использовать в учебном процессе вузов, осуществляющих подготовку бакалавров и магистров по направлениям «Конструирование изделий легкой промышленности» и «Технология изделий легкой промышленности», на предприятиях, выпускающих обувь, в том числе специальную, включая медицинскую, в модернизации программного обеспечения САПР и институтах дополнительного образования для развития новых компетенций, ориентированных на цифровизацию экономики.
2. Предлагаемая концепция может получить развитие в совершенствовании проектирования при построении инфраструктуры и эволюции облачной САПР обуви; ритейл-ориентации – более тесное взаимодействие с покупателями; векторе корпоративности – создание единой информационной среды предприятия.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ

Статьи в изданиях, входящих в «Перечень» ВАК при Минобрнауки России:

1. Гусев А.О., Костылева В.В., Разин И.Б., Муртазина А.Р. Контроль версий в облачной системе автоматизированного проектирования обуви // Костюмология, 2021 №1, <https://kostumologiya.ru/PDF/04TLKL121.pdf>

2. А. Р. Муртазина, А. О. Гусев, В. В. Костылева, И. Б. Разин. Векторизация чертежей конструкций верха обуви с использованием открытых библиотек // Дизайн и технологии. – 2019. – № 74(116). – С. 135-141.

3. А. Р. Муртазина, А. О. Гусев, В. В. Костылева, И. Б. Разин. Концепция использования сетевой корпоративной системы и открытых библиотек для перехода к «умному предприятию». // Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности. – 2021. – Т. 51. – №. 1. – С. 102-106.

Статьи в прочих изданиях

1. Гусев А. О., Костылева В. В., Разин И. Б. Преимущества и недостатки построения клиентской части веб-приложения на основе модульного подхода // Сборник научных трудов Международной научно-практической конференции «Фундаментальные и прикладные научные исследования в области инклюзивного дизайна и технологий: опыт, практика и перспективы. Часть 2. – М.: РГУ им. А.Н. Косыгина, 2021, с. 10-13

2. Гусев А. О., Костылева В. В., Разин И. Б. Сравнение алгоритмов балансировки нагрузки // Инновационное развитие техники и технологий в промышленности (ИНТЕКС-2020). – 2020. – С. 143-146.

3. Гусев А. О., Костылева В. В., Разин И. Б., Муртазина А.Р. Сравнение производительности многопоточной реализации алгоритма скелетизации Зонга-Суня // Сборник научных трудов Международной научно-практической заочной конференции: Концепции, теория, методики фундаментальных и прикладных научных исследований в области инклюзивного дизайна и технологий. – 2020, с. 6-10.

4. Гусев А. О., Костылева В. В., Разин И. Б., Белгородский В.С. Описание NURBS сплайнами контура изображения, векторизованного при помощи поливекторных полей // Сборник Международного научно-технического симпозиума: Современные инженерные проблемы в производстве товаров народного потребления» Международного Косыгинского Форума. Часть 1. – М.: РГУ им. А.Н. Косыгина, 2019, с. 208-214

5. Гусев А. О., Костылева В. В., Разин И. Б. О направлениях развития обувных САПР // Сборник методических рекомендаций по вопросам развития технических и естественных наук. – 2019. – С. 10-15.

6. Гусев А. О., Костылева В. В., Разин И. Б. Анализ текущего этапа развития обувных САПР. Сборник научных трудов научно-практической конференции «Эргодизайн как инновационная технология проектирования изделий и предметно-пространственной среды: инклюзивный аспект. Часть 1. – М.: РГУ им. А.Н. Косыгина, 2019, с. 83-87

7. Гусев А. О., Костылева В. В., Разин И. Б. Сравнение технологий рендеринга для облачной САПР обуви // Дизайн, технологии и инновации в

текстильной и легкой промышленности (ИННОВАЦИИ-2020): сборник материалов Международной научно-технической конференции. Часть 1.–М.: ФГБОУ ВО «РГУ им. АН Косыгина», 2020.–271 с. – С. 158.

8. Гусев А. О., Костылева В. В., Разин И. Б. Направления развития облачных САПР // Инновационное развитие легкой и текстильной промышленности (ИНТЕКС-2019). – 2019. – С. 183-186.

9. Гусев А. О., Костылева В. В., Разин И. Б. Облачные технологии и САПР в индустрии моды. Сборник статей международной научно-практической конференции «Фундаментальные и прикладные проблемы создания материалов и аспекты технологий текстильной и легкой промышленности». – 2019, с. 277-279.

10. Гусев А. О., Костылева В. В., Разин И. Б. Гибридная архитектура облачной САПР обуви // Сборник научных трудов Международного научно-технического симпозиума «Современные инженерные проблемы в производстве товаров народного потребления» III Международного Косыгинского Форума «Современные задачи инженерных наук». - М.: «РГУ им. А.Н. Косыгина», с. 225-228

11. Свидетельство Федеральной службы по интеллектуальной собственности о государственной регистрации программы для ЭВМ «Вычислительный сервис облачной системы автоматизированного проектирования обуви Calceus» № 2021615416

ГУСЕВ АЛЕКСАНДР ОЛЕГОВИЧ

**РАЗРАБОТКА КОНЦЕПЦИИ СИСТЕМЫ
АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОБУВИ С
ПРИМЕНЕНИЕМ ОБЛАЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

**Усл.-печ. 1,0 п.л. Тираж 80 экз. Заказ №
Редакционно-издательский отдел
ФГБОУ ВО «РГУ им. А.Н. Косыгина»
117997, г. Москва, ул. Садовническая, д. 33, стр. 1
Отпечатано в РИО ФГБОУ ВО «РГУ им. А.Н. Косыгина»**