

На правах рукописи



Чижик Маргарита Анатольевна

**МЕТОДОЛОГИЯ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ШВЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА
НА ОСНОВЕ МНОГОМЕРНОГО ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО
МОДЕЛИРОВАНИЯ**

Специальность 05.19.04 – Технология швейных изделий

Автореферат
диссертации на соискание учёной степени
доктора технических наук

Санкт-Петербург – 2018

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Омский государственный технический университет».

Научный консультант **Сурженко Евгений Яковлевич**
доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой конструирования и технологии швейных изделий Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна»

Официальные оппоненты: **Мокиева Наталия Сергеевна**
доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии и дизайна швейных изделий Новосибирского технологического института (филиал) Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский государственный университет им. А. Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)»

Метелева Ольга Викторовна
доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии швейных изделий Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Ивановский государственный политехнический университет»

Волошинов Денис Вячеславович
доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой информатики и компьютерного дизайна Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича»

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Владивостокский государственный университет экономики и сервиса»

Защита состоится «27» ноября 2018 года в 11:00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.236.06 при Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна» по адресу: 191186, г. Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д.18, ауд. 241.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна» по адресу: 191186, г. Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д.18, <http://www.sutd.ru>.

Автореферат разослан «___» _____ 2018 г.

Учёный секретарь
диссертационного совета  Васильева Елизавета Константиновна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Правительством Российской Федерации в рамках государственной программы «Развитие промышленности и повышение её конкурентоспособности» (от 15 апреля 2014 г. N 328) поставлены задачи по импортозамещению, созданию устойчиво развивающегося высокотехнологичного сектора лёгкой промышленности в экономике страны, обладающего мощным инновационным заделом для повышения конкурентного уровня отрасли и темпов её экономического роста. Доля лёгкой промышленности в общем объёме промышленного производства к 2020 году должна увеличиться до 1,5%; выпуск конкурентоспособной продукции возрасти в 1,6 раза; доля российских товаров на внутреннем рынке составить до 50,5%, а доля инновационной продукции до 46%. Таким образом, для швейного производства актуализирована задача получения изделий высокого качества.

В результате анализа и обобщения технологических задач проектирования изделий; проектирования технологических процессов швейного производства; внедрения разнородных изделий в массовое производство были осуществлены постановка и формулирование задачи параметрического проектирования технологических процессов в системе КАЧЕСТВО-МАТЕРИАЛ-ПРОЦЕСС, которую нельзя решить на основе применяемых в настоящее время подходов, базирующихся на решении совокупности однокритериальных задач.

Диссертационная работа посвящена разработке и апробации методологии параметрического проектирования технологических процессов швейного производства, в основу которой положены принципы системного анализа, методы функционального и математического, геометрического моделирования и современные информационные технологии. Основные положения разработанной методологии применимы к проектированию новых и совершенствованию существующих технологических процессов не только для швейной, но и других отраслей лёгкой промышленности.

Работа выполнена в рамках государственных заданий на проведение НИР по темам: «Разработка механизмов оптимизации использования многокомпонентных систем материалов на предприятиях лёгкой промышленности» № 258 в рамках базовой части государственного задания в сфере научной деятельности по заданию № 2014/319 и «Разработка теоретических основ инновационной системы обеспечения качества информационных услуг в условиях развития информационного общества» № 01201155180 и госбюджетных работ НИОКР ФГБОУ ВО «ОмГТУ».

Целью диссертационной работы является разработка методологии параметрического проектирования технологических процессов швейного производства на основе многомерного геометрического моделирования, применение которой обеспечит изготовление продукции с заданными свойствами, повышение производительности труда и экономию ресурсов.

Для достижения указанной цели в диссертационной работе решались следующие **задачи**:

- разработка подхода к параметрическому проектированию технологических процессов швейного производства на основе системного анализа, функционального и многомерного геометрического моделирования;
- разработка формализованного аппарата геометрического многомерного моделирования, методического, алгоритмического и программного обеспечения его реализации;
- разработка метода и пользовательского приложения параметрического проектирования технологических процессов швейного производства;
- апробация метода проектирования технологического процесса и оценка точности получаемых моделей;
- построение многомерных моделей и установление режимов технологических процессов соединений деталей швейных изделий в области допустимых значений параметров;
- апробация и внедрение результатов на предприятиях швейной отрасли.

Общая характеристика методов исследования.

При решении поставленных задач применены теоретические и экспериментальные методы. В теоретических исследованиях использованы методологии системного анализа, функционального и математического моделирования и оптимизации; методы интерполяции и аппроксимации; методы аналитической, вычислительной и начертательной геометрии; элементы программирования; математической статистики, корреляционного и регрессионного анализа; методы оценки свойств и характеристик объектов. В экспериментальных исследованиях применены стандартные и оригинальные методики и приборы для определения свойств и характеристик исследуемых объектов. В работе применялись следующие программные продукты: операционная среда Matlab Release 2013a, Borland Delphi 7, Python, AllFusion Process Modeler7, Visual Basic for Applications, MySQL v.5.6., пользовательское приложение, программы для ЭВМ «Оптимизация процессов», «Гиперспуск».

Научная новизна работы:

1. Научное направление разработки технологических основ, прогрессивных способов и технологических процессов изготовления швейных изделий дополнено методологией параметрического проектирования технологических процессов, применение которой обеспечивает получение научно обоснованных режимов для производства изделий требуемого качества, повышения производительности труда и экономии ресурсов.

2. Сформулированы теоретические базовые положения применения многомерной геометрии к моделированию технологических процессов швейного производства, позволившие построить универсальную многомерную геометрическую модель любого технологического процесса и получать области значений параметров для варьируемых наборов критериев.

3. Создан формализованный геометрический аппарат, включающий систему алгоритмов построения многомерных моделей и поиска решений параметрических задач со взаимно зависимыми параметрами.

4. Полученная универсальная многомерная геометрическая модель технологического процесса, представлена совокупностью каркасов, отражающих множество взаимосвязей в области существования параметров с требуемой точностью.

5. Впервые получены геометрические многомерные модели для технологических процессов лазерной сварки, дублирования термоклеевыми прокладочными материалами и ниточного соединения, выбора параметров пакета с несвязанным наполнителем.

6. Установлены режимы технологических процессов соединений деталей швейных изделий для заданной совокупности критериев качества.

Теоретическая значимость:

1. Разработанная методология параметрического проектирования технологических процессов на основе многомерного геометрического моделирования является вкладом в общую теорию проектирования и моделирования технологических процессов и объектов швейного производства.

2. Построенная универсальная геометрическая модель параметрического технологического процесса наглядно представляет взаимосвязи параметров в многомерном пространстве.

3. Разработанные алгоритмы построения многомерных геометрических моделей и определения области значений параметров.

4. Полученные модели технологических процессов швейного производства и установленные на их основе области значений параметров позволяют определять технологические режимы изготовления изделий заданного качества в широком спектре возможных решений.

К основным **практическим результатам** следует отнести:

– метод определения параметров технологических режимов для обеспечения качества и надёжности выпускаемых изделий при условии рационального расхода ресурсов;

– компьютерную реализацию параметрического проектирования технологических процессов швейного производства, позволяющую с требуемой точностью решать задачи параметрического проектирования;

– рекомендации по применению пользовательского приложения параметрического проектирования на предприятиях отрасли;

– технологические режимы получения соединений лазерной, клеевой, ниточной технологий для существующего оборудования, ассортимента материалов и швейных изделий;

– методы оценки свойств швейных изделий.

Личный вклад соискателя состоит в обосновании актуальности темы, постановке цели; формулировке задач исследований, научной концепции, теоретических положений и выводов диссертации; анализе и обобщении полученных результатов. При непосредственном участии автора выполнены все

теоретические расчёты, разработаны новые методы и методики, под его руководством проведены все экспериментальные исследования, осуществлена промышленная апробация.

Автор защищает:

- методологию и метод параметрического проектирования технологических процессов швейного производства, основанные на многомерном геометрическом моделировании;
- универсальную геометрическую модель параметрического технологического процесса;
- общий алгоритм построения многомерных геометрических моделей;
- многомерные модели, области значений параметров и режимы технологических процессов швейного производства.

Внедрение результатов исследований: Теоретические и методологические разработки внедрены в реальную практику швейных предприятий: ООО «КаменскСпецодежда» (г. Каменск-Уральский), ТОО «Швейная фабрика ДИАС» (г. Кокшетау Республика Казахстан), ООО «Элеган» (г. Армавир); ООО «Сибарус», обувной фабрикой ООО «АРТУР», кожгалантерейной фабрикой ЗАО «Сибирь» (г. Омск).

Апробация результатов работы. Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались, обсуждались и получили положительную оценку на следующих научно-технических конференциях:

- *международных*: «Теория и практика разработки оптимальных технологических процессов и конструкций в текстильном производстве (Прогресс–97)»; «Современные наукоёмкие технологии и перспективные материалы текстильной и легкой промышленности (Прогресс–2002)» (Иваново, 1997, 2002); «Динамика систем, механизмов и машин» (Омск, 1999); «Проблемы совершенствования качественной подготовки специалистов высшей квалификации» (Омск, 2004, 2006); «Военная техника, вооружение и технологии двойного применения» (Омск, 2005); «Современные тенденции и перспективы развития образования в высшей школе» (Омск, 2005, 2007); «Современные проблемы геометрического моделирования» (Харьков, 2007); «Совершенствование технологий обеспечения качества образования: опыт, проблемы и перспективы» (Омск, 2008); «Современная клеевая технология изготовления одежды» (Санкт-Петербург, 2011); «Фундаментальные и прикладные исследования, разработка и применение высоких технологий в промышленности» (Санкт-Петербург, 2011); «Актуальные проблемы обеспечения качества и конкурентоспособности товаров и услуг в условиях глобализации» (Караганда, 2012); «Актуальные проблемы науки в развитии инновационных технологий («ЛІЕН–2012»)» (Кострома, 2012); «The 16th International Conference on Geometry and Graphics (ICGG 2014), August 4–8» (Innsbruck, Austria, 2014); «Дизайн, технологии и инновации в текстильной и лёгкой промышленности (ИННОВАЦИИ–2015)» (Москва, 2015); «26-я Международная конференция по компьютерной графике и визуализации (GraphiCon, 2016)» (Нижний Новгород, 2016);

– *региональных*: «Совершенствование системы подготовки специалиста для сферы сервиса» (Омск, 2002); «Региональные аспекты развития лёгкой промышленности в России. Перспективы, конкурентоспособность» (Омск, 2006); «Государственная политика и научно-инновационная деятельность в сфере лёгкой промышленности. Региональный аспект» (Омск, 2007);

– *межвузовских*: «Молодежь. Наука. Творчество» (Омск, 2002); «Теоретические знания – в практические дела» (Омск, 2006); внутривузовской: «Новые разработки учёных ВУЗа для предприятий сервиса и малого бизнеса» (Омск, 1999); научно-практических: «XXXV Томская городская научно-методическая конференция по начертательной геометрии, инженерной и компьютерной графике» (Томск, 2004); «Тенденции и перспективы развития легкой промышленности, повышения конкурентоспособности товаров в период подготовки к вступлению России в ВТО» (Омск, 2005).

Публикации. По теме диссертации лично и в соавторстве опубликовано 89 печатных работ, из них: 17 статей в рецензируемых научных изданиях из перечня ВАК Министерства образования и науки РФ, 7 статей в журналах, цитируемых в международных базах научного цитирования «Scopus»; 3 монографии; 5 патентов на изобретение; 2 свидетельства о регистрации программ для ЭВМ; 1 свидетельство о регистрации базы данных.

Структура и объём работы. Диссертация состоит из введения, основной части из 5 глав, заключения, библиографического списка, включающего 269 источников и 6 приложений. Общий объём работы составляет 272 страницы машинописного текста, включая 26 таблиц и 74 рисунка.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении дано обоснование актуальности темы, указаны цель и задачи исследования, определены научная новизна и практическая значимость изучаемых вопросов.

В первой главе обобщены результаты исследований, выполненных автором и под его руководством, и выполнен обзор научных работ, посвященных проектированию технологических процессов швейной отрасли; сформулирована проблема, обоснованы методы её решения на основе многомерного геометрического моделирования в проектировании технологического процесса.

В период научно-практической деятельности (1991–2017) автором проводились исследования и выполнялись разработки одежды из различных материалов, осуществлялось проектирование технологических процессов её изготовления для предприятий РФ (г. Омска, Омской области и других регионов). Было установлено, что ключевой проблемой проектирования и внедрения инновационных изделий является обеспечение заданных критериев качества, которые во многом зависят от режимов технологических процессов, что актуально для процессов соединения материалов лазерной сваркой, клеевой и ниточной технологиями. Накопленные результаты позволяют выделить круг задач, возникающих при проектировании технологических процессов и наметить пути их решения.

В работах В. Е. Романова, П. П. Кокеткина, В. В. Веселова, В. Е. Кузьмичёва, Е. Я. Сурженко, Н. П. Березненко, А. П. Жихарева, О. В. Метелёвой, И. В. Черуновой, А. А. Черепенько и исследованиях других авторов решены задачи определения оптимальных параметров для проектирования изделий, оборудования и технологических процессов их изготовления. К настоящему времени отраслевые технологии теоретически описаны на основе физико-химических процессов, оптимизированы с использованием математических моделей, подтверждены экспериментально, реализованы в оборудовании и материалах.

В большинстве работ выбор параметров формулируется как многокритериальная задача, при этом её решение сводится к однокритериальным и базируется на обработке экспериментальных данных вероятностно-статистическими методами и оптимизацией в зависимости от определённых ограничений и допущений, что существенно ограничивает возможности получения решения, оптимального для заданных условий.

Автором установлено, что одновременно рассматривать совокупность параметров и критериев, исследовать сложные взаимосвязи между параметрами процессов как функциональные пространства многих переменных и определять область значений параметров позволяют специально созданные многомерные геометрические модели. Однако в современной науке многомерная геометрия представлена на уровне теоретических положений, прикладное использование которых требует разработки методов, алгоритмов вычисления, построения и их программной реализации.

Для проектирования технологических процессов в типовую схему (рисунок 1) был включён геометрический аппарат многомерного моделирования (рисунок 2).

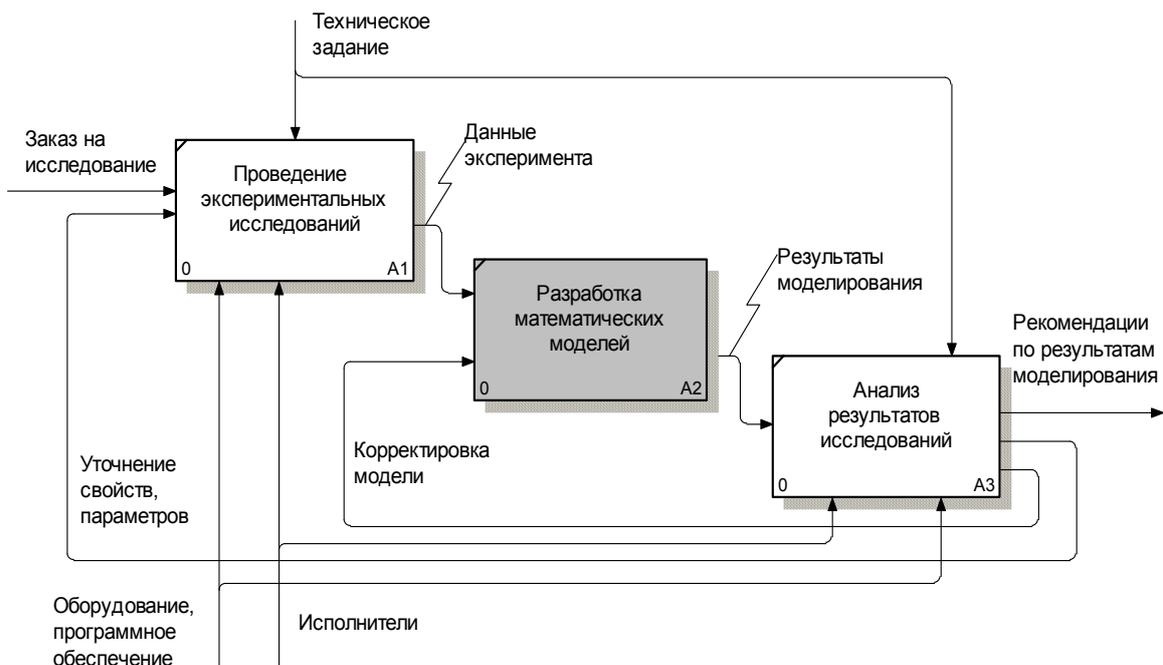


Рисунок 1 – Типовая схема моделирования технологических процессов

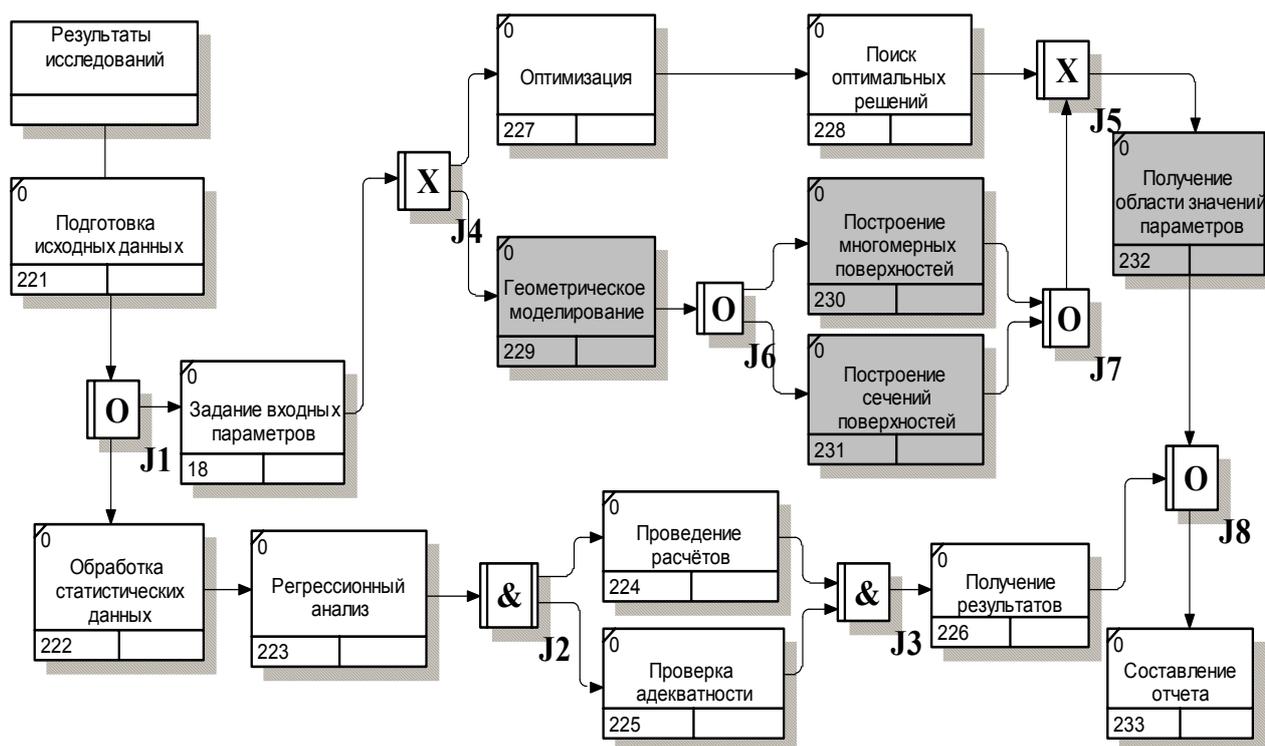


Рисунок 2 – Схема реализации математического моделирования

Включение геометрического аппарата параметрического проектирования технологических процессов швейного производства на основе многомерного геометрического моделирования позволит устанавливать технологические режимы в области существования параметров для заданных критериев качества.

Во второй главе разработан теоретический подход к проектированию технологических процессов швейного производства на основе геометрического моделирования: сформулированы основные понятия; разработаны основы построения конструктивных моделей на многомерном комплексном чертеже; формализованный геометрический аппарат построения моделей пространств различной размерности и классов задач.

Предлагаемый подход сформулирован на основе теории многомерной геометрии с использованием элементов теории параметризации и методов многомерной исчислительной геометрии, разработанных под руководством профессора В. Я. Волкова.

Многомерная геометрия рассматривает объекты в качестве функциональных пространств многих переменных и наглядно представляет их в виде графических моделей гиперплоскостей и гиперповерхностей, а с помощью геометрических преобразований возможно понижение размерности функционального пространства.

Поскольку у технологического процесса параметры заданы дискретным множеством точек и существует взаимозависимость параметров, то его модель можно рассматривать как каркас гиперповерхности, состоящий из конечного числа линий. Способ задания гиперповерхности дискретным каркасом в виде

регулярной сетки из конечного числа линий позволяет, в отличие от известных, локализовать исследуемую область параметров и отбросить часть уравнений из области поиска решений и тем самым сократить и упростить вычисления и построения.

Математическая формулировка постановки задачи исследований. Пусть компонентами системы являются параметры технологического процесса $X = \{x_1, x_2, x_3, \dots, x_n\}$ и критерии качества $Y = \{y_1, y_2, y_3, \dots, y_m\}$. Каждому набору параметров X соответствуют количественные значения критериев Y . Каждому из Y можно задать значения y_i^* и возможные величины отклонения Δ_i от этих значений: $|y_i - y_i^*| \leq \Delta_i$.

Требуется для заданных значений критериев $Y^* = \{y_1^*, y_2^*, \dots, y_m^*\}$ найти общую область значений параметров в многомерном пространстве E^{n+m} .

Методология параметрического проектирования технологических процессов базируется на следующих основных положениях:

1. Технологические процессы швейного производства независимо от их физической природы можно описать дискретно заданной гиперповерхностью в пространстве параметров и критериев, которая отражает взаимосвязи параметров и критериев в области их допустимых значений.

2. Гиперповерхность наглядно можно представить совокупностью линий одномерных, двумерных каркасов на многомерном комплексном чертеже.

3. Параметры режима технологического процесса представляют собой некоторое множество точек и линий пространства параметров и критериев, которое определяется как пересечение линий каркаса гиперплоскостями уровня, заданными совокупностью значений критериев.

В работе теоретически разработан формализованный аппарат построений геометрических моделей пространств различной размерности и классов задач. На рисунке 3 представлены каркасные модели в пятимерном (рисунок 3а) и шестимерном (рисунок 3б) пространстве.

На основе теоретических положений разработаны общие алгоритмы решения позиционных задач для двух и более m -мерных поверхностей и построены области пересечения гиперповерхностей с гиперплоскостями уровня. На рисунке 3 линия ABC представляет область пересечения в пятимерном, а линии ABC, DLM в шестимерном пространстве.

В ходе исследований установлено, что геометрически область значений параметров может представляться конечным числом точек, кривыми, поверхностями, многомерной поверхностью в зависимости от выбранного числа параметров и критериев технологического процесса. Если количество параметров и критериев совпадают, искомой областью будет одна или несколько точек; в случае, когда количество параметров больше количества критериев задача может иметь несколько решений, а размерность искомой области равна разности числа параметров и критериев.

Предложенный подход реализован совокупностью математических алгоритмов, которые приводятся в работе.

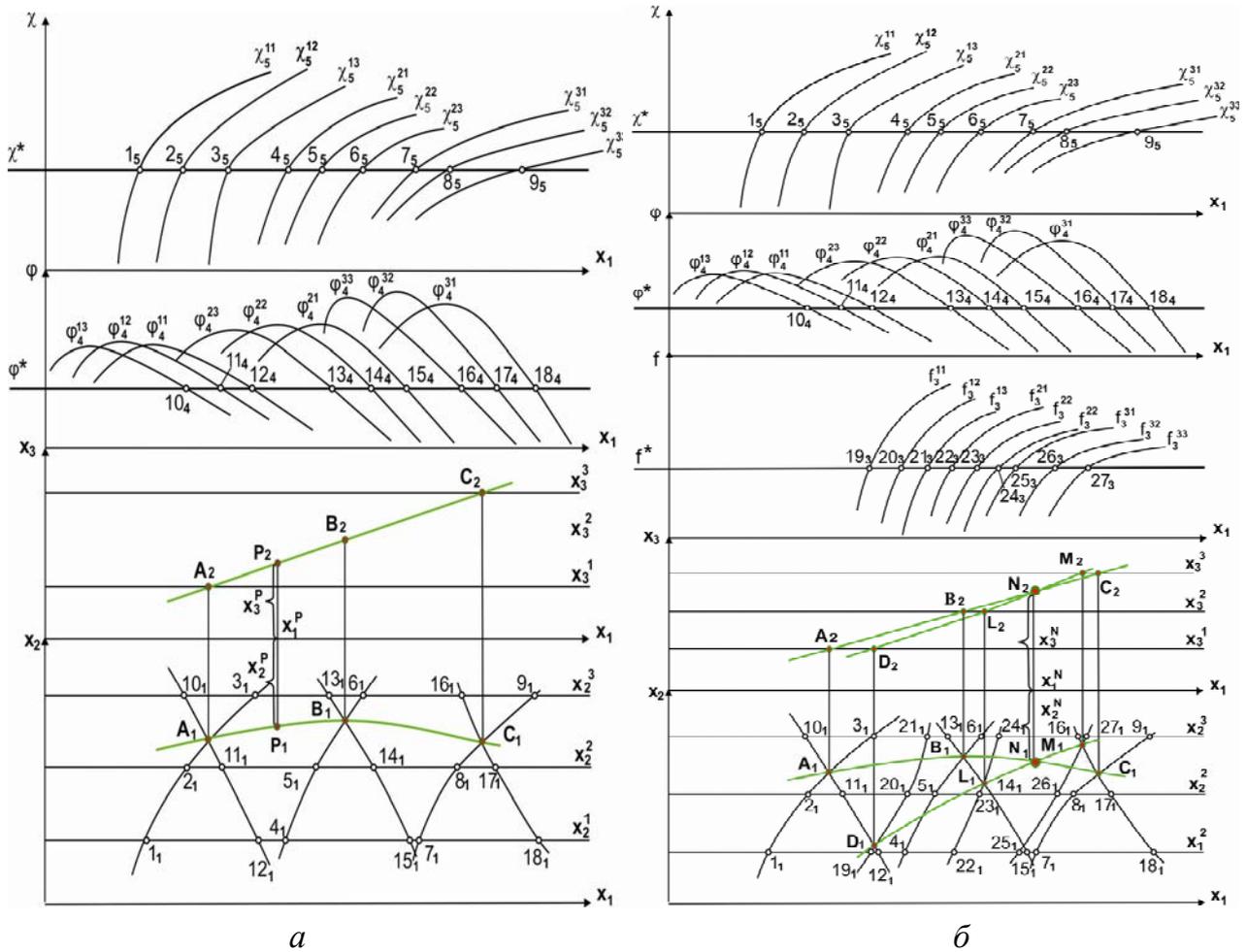


Рисунок 3 – Схема построения многомерной модели и области пересечения гиперповерхностей с гиперплоскостями уровня

Таким образом, на основе теоретических разработок получена универсальная многомерная модель для поиска области значений параметров технологического процесса. Сформулированные положения и полученные результаты обеспечивают возможности графоаналитического решения параметрических задач с требуемой точностью.

Третья глава посвящена реализации методологии геометрического моделирования применительно к процессам и материалам швейной отрасли, разработке программных средств и алгоритмов с поддержкой различных графических библиотек, интерфейса пользователя и базы данных.

Последовательность решения параметрической технологической задачи методом геометрического моделирования зависит от цели проектирования и включает (рисунок 4):

1. *Выбор оптимальных режимов* из имеющихся в базе данных.
2. *Получение технологических режимов* при изменении значений критериев. По имеющейся геометрической модели проводится поиск новой области значений параметров.
3. *Получение новых технологических режимов.* Построение новой многомерной модели для нового эксперимента (новые материалы, режимы обработки, оборудование).

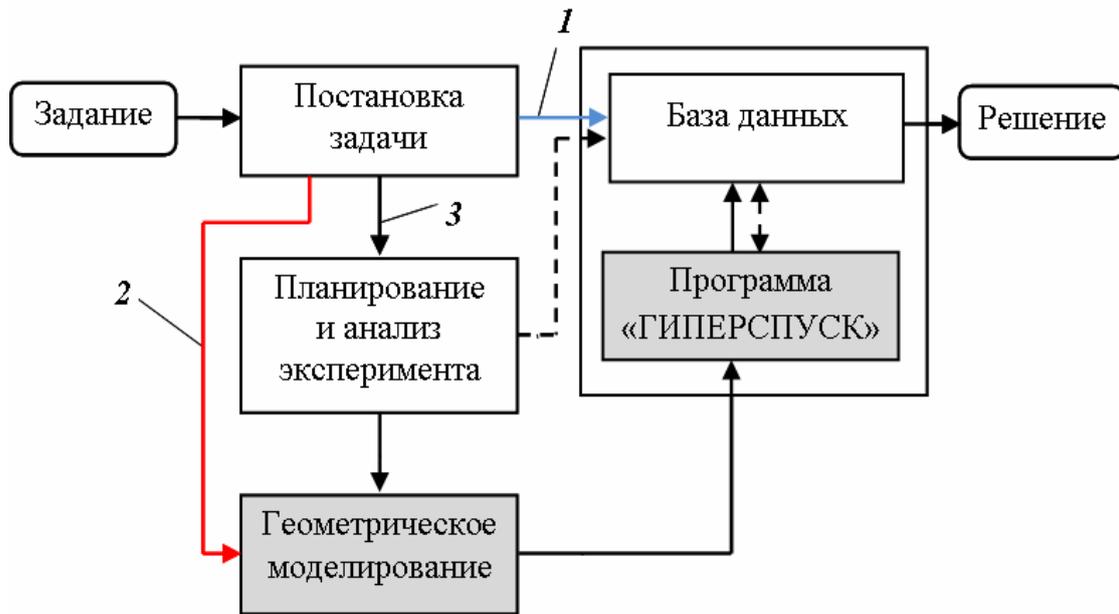


Рисунок 4 – Схема компьютерной реализации метода геометрического моделирования технологических процессов

Программное обеспечение представлено программой «Гиперспуск», разработанной на языке программирования Python, базой данных в СУБД MySQL; макетом интерфейса пользовательского приложения в Delphi, что позволяет использование их в многообразии контекстов: локальная база данных; модуль в системе САПР; источник данных для веб-интерфейса или API.

Алгоритм, реализующий предложенный метод геометрического моделирования, представлен на рисунке 5.

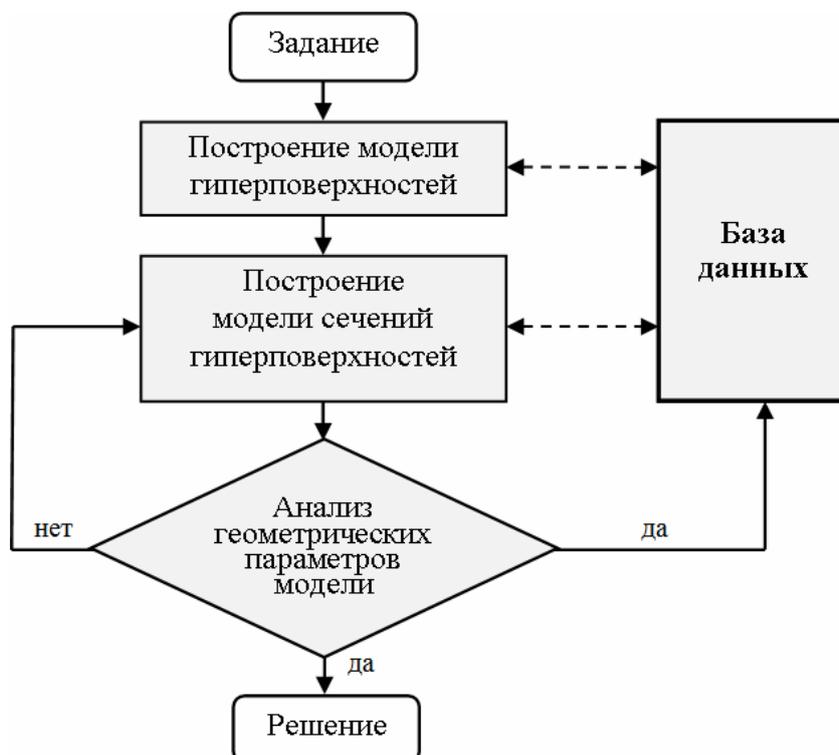


Рисунок 5 – Схема алгоритма, реализующего метод геометрического моделирования

Структура программной библиотеки включает основной и вспомогательный классы. Основной класс используется для работы с базой данных, построения каркаса гиперповерхности, сечений гиперплоскостями уровня и поиска пересечения гиперповерхностей в пространствах с одинаковыми размерностями. Вспомогательный класс предназначен для обработки наборов точек и кривых на плоскости.

Интерфейс ориентирован на специалистов швейного производства: результаты моделирования представляются совокупностью чертежей многомерной модели процесса и области значений параметров.

Таким образом, предложенная методология геометрического моделирования технологического процесса получила реальное воплощение в компьютерных программах для практической деятельности.

Четвёртая глава посвящена апробации универсальной геометрической модели для поиска области значений параметров технологического процесса ниточного соединения.

Выбор параметров и критериев процесса обусловлен априорной информацией и требованиями прикладной задачи. Оценку воспроизводимости эксперимента проводили по критерию Кохрена, проверка адекватности модели выполнялась по величине критерия Стьюдента.

Стачные швы выполнялись полиэфирными швейными нитками различной линейной плотности $h = 28, 32, 37$ текс на смешанной хлопкополиэфирной ткани с вложением нитей полиуретана: основа ПрХ, уток НКмб; сердечник НПУ, оплётка НПэф; поверхностная плотность $M_s = 250$ г/м²; толщина $b = 0,48 \cdot 10^{-3}$ м.

Параметры технологических режимов: длина стежка $L = 2, 3, 4$ мм; натяжение игольной нити $F = 0,2, 0,4, 0,6$ даН.

Усилие нажима лапки на ткань и номер швейной иглы приняты постоянными, обеспечивающими качественную строчку.

Параметры режимов работы оборудования и показатели свойств ниточных соединений (разрывная нагрузка шва P_{II} , Н и жёсткость EI , мкН·см²) определялись стандартными и оригинальными методами и средствами измерения. Оценка результатов эксперимента по критерию Кохрена показала, что требование однородности дисперсий выполняется с надёжностью 95 %.

Полученная модель процесса ниточного соединения представлена в работе каркасом гиперповерхности в виде девяти чертежей плоскостей проекций, на рисунках 6, 7 показаны четыре из них. На рисунке 7 представлена область значений параметров.

Линии на рисунках соответствуют сочетанию двух параметров: натяжению игольной нитки и толщине швейных ниток. Значения параметра длины стежка изменяются дискретно по оси x_1 .

Модель наглядно показывает зависимость механических свойств швов от параметров: с увеличением частоты стежка разрывная нагрузка и жёсткость строчки возрастают; с увеличением натяжения игольной нити разрывная нагрузка уменьшается, а жёсткость увеличивается.

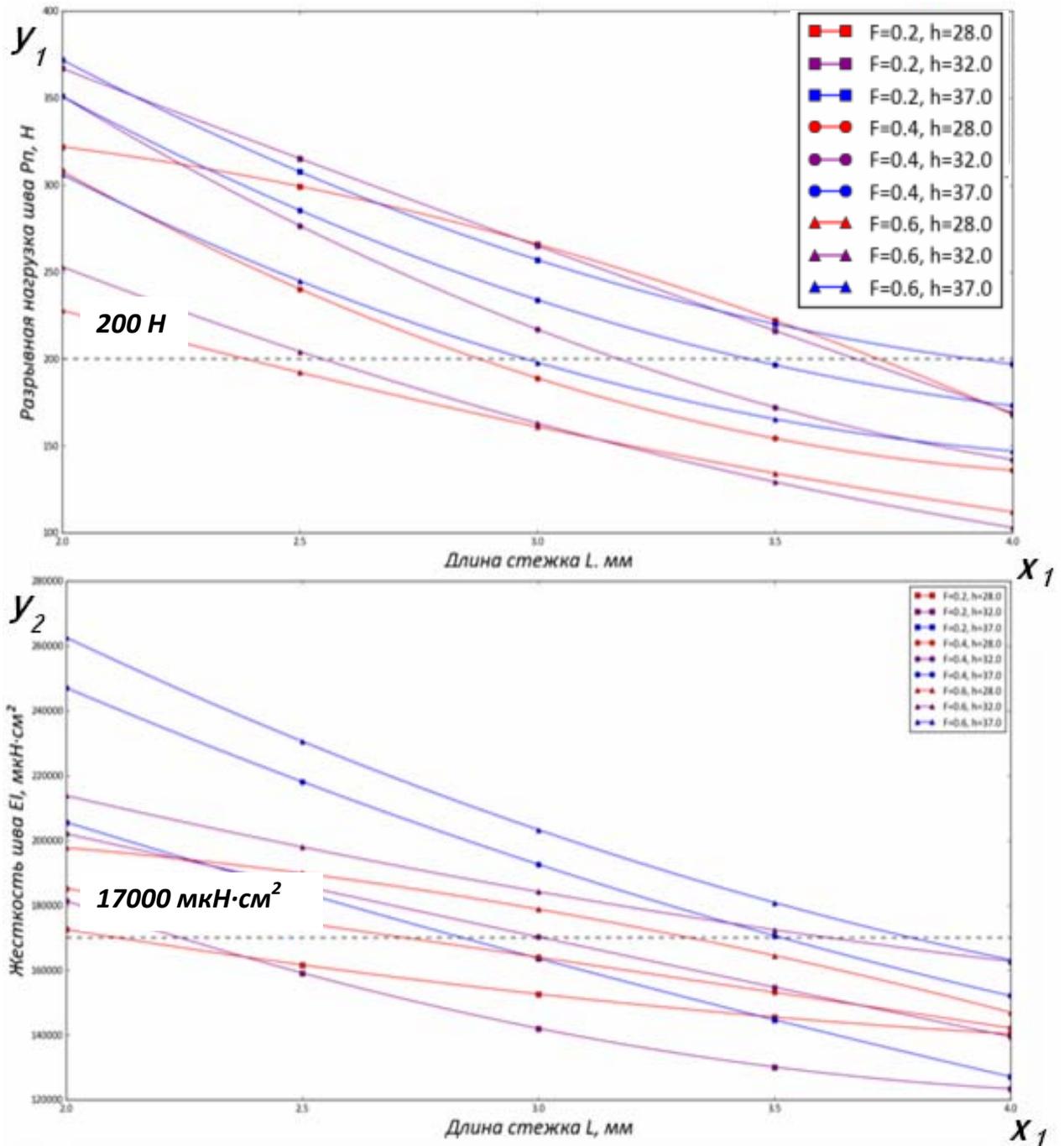


Рисунок 6 – Геометрическая модель процесса ниточного соединения: зависимость разрывной нагрузки и жёсткости шва от длины стежка

В качестве примера были установлены параметры получения ниточного соединения, удовлетворяющего следующим критериям: разрывная нагрузка $P_{II} \geq 200$ Н; жёсткость в пределах $160000 \leq EI \leq 260000$ мкН·см².

Линии уровня, соответствующие значениям критериев показаны пунктиром на рисунке 6.

Для каждого критерия получены сечения: позиции 1, 2, 3 для разрывной нагрузки, 4, 5, 6 для жёсткости (рисунок 7). Каждая линия соответствует определенной толщине швейных ниток: 1, 4 – линейная плотность $h = 28$ текс; 2, 5 – $h = 32$ текс; 3, 6 – $h = 37$ текс.

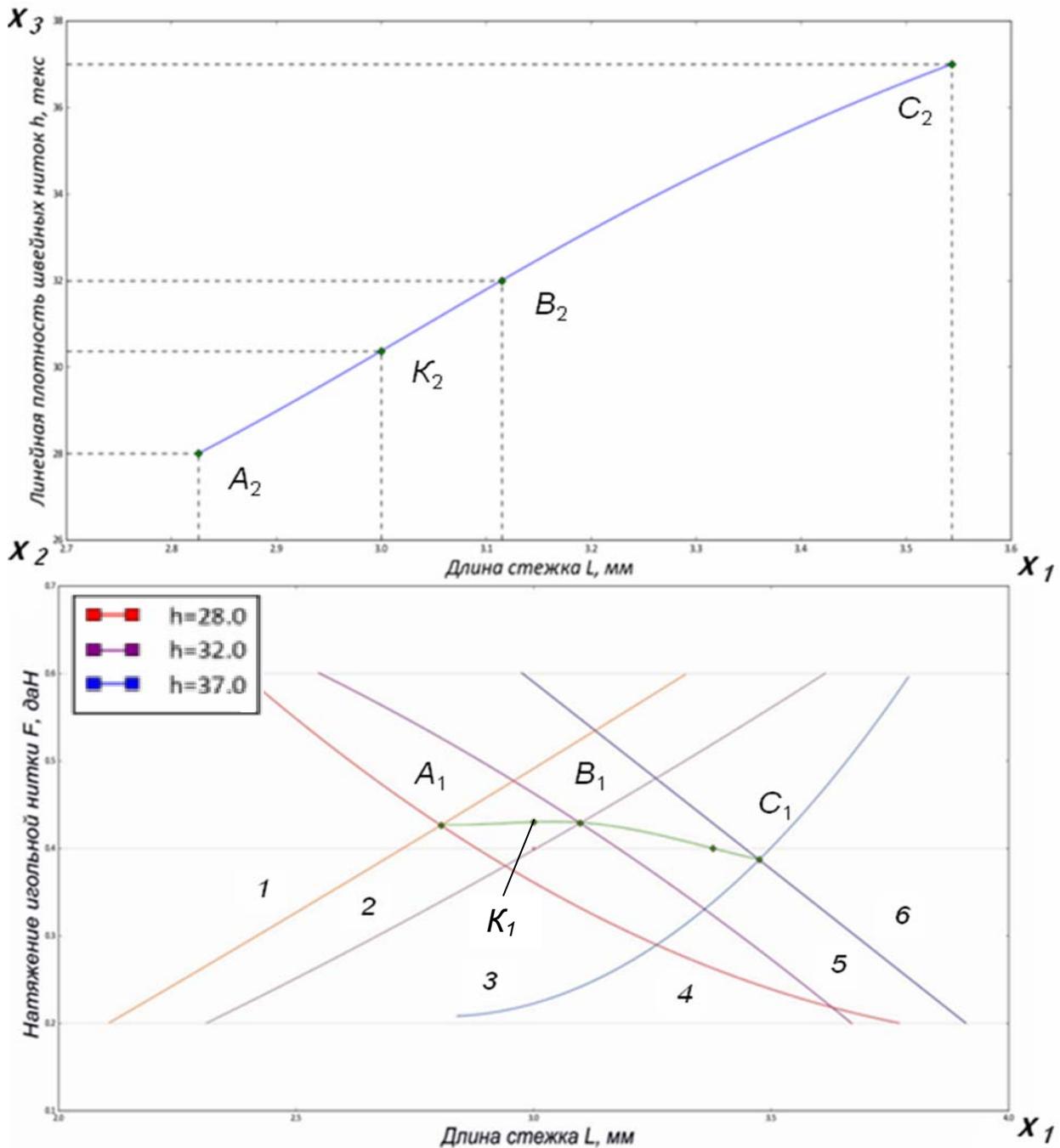


Рисунок 7 – Геометрическая модель процесса ниточного соединения:
область значений параметров

Точки пересечения линий определяют режимы получения ниточных швов, удовлетворяющих двум критериям: для ниток с линейной плотностью $T = 28$ текс это точки $A(A_1, A_2)$; для $T = 32$ текс – $B(B_1, B_2)$; для $T = 37$ текс – $C(C_1, C_2)$.

Область значений параметров для совокупности критериев определяется множеством точек линии (ABC) .

Таким образом, были установлены параметры получения ниточного соединения, удовлетворяющего заданной совокупности критериев $P_{II} = 200$ Н и $EI = 170000$ мкН·см² (таблица 1).

Таблица 1 – *Расчётные технологические параметры получения ниточного соединения для $P_{\Pi} = 200 \text{ Н}$, $EI = 170000 \text{ мкН}\cdot\text{см}^2$*

<i>Толщина нитки, текс</i>	<i>Параметр</i>	
	<i>длина стежка, мм</i>	<i>натяжение игольной нитки, даН</i>
37	3,6	0,40
32	3,1	0,42
28	2,8	0,44

Проверка модели выполнена по критерию Стьюдента, подтверждена её адекватность с надёжностью 95%, что позволяет использовать модель для установления режимов получения соединений, удовлетворяющих заданным критериям качества.

Пятая глава посвящена исследованию технологических процессов швейного производства и установлению области значений параметров и технологических режимов лазерной сварки термопластичных материалов, дублирования ткани термоклеевыми прокладочными материалами.

Моделирование процесса лазерной сварки текстильных термопластичных материалов. Объектами исследования являлись швы, выполненные сплошным сварным стежком в многослойном настиле, сформированном из четырёх пакетов текстильного термопластичного материала (ТТМ) на тканой основе с односторонним покрытием плёнкой из ПВХ: поверхностная плотность $M_s = 290 \text{ г/м}^2$; толщина $b = 0,38 \cdot 10^{-3} \text{ м}$; разрывная нагрузка по основе $P_o = 465 \text{ Н}$, по утку $P_y = 396 \text{ Н}$; прочность связи плёночного покрытия с основой $0,5 \text{ кН/м}$.

Сварка выполнялась на многоцелевой автоматизированной установке, оснащённой CO_2 -лазером, генерирующим излучение длиной волны $10,6 \text{ мкм}$ и работающим в непрерывном режиме, пределы мощности излучения от 5 до 60 Вт , расходимость пучка излучения – $7 \cdot 10^{-3} \text{ рад}$; время подготовки к работе – 30 мин . Параметры фокусирующей системы: фокусное расстояние линзы 50 мм ; диаметр лазерного пучка – 10 мм ; расстояние от линзы до диафрагмы – 45 мм .

Исследования проводились в диапазоне параметров: скорость $v = 0,5\text{--}1,25 \text{ м/мин}$ с интервалом $0,25 \text{ м/мин}$; мощность $f_0 = 10\text{--}50 \text{ Вт}$ с интервалом 10 Вт ; расстояние от сопла до поверхности настила $l = 10 \cdot 10^{-3}\text{--}140 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ с интервалом $10 \cdot 10^{-3} \text{ м}$; давление газа постоянное $g = 0,12 \text{ МПа}$.

Критерии оценки качества сварных соединений: прочность (P , Н) и ширина получаемого сварного шва (b , 10^{-3} м), а также высота обрабатываемого настила (h , 10^{-3} м). Прочность сварных швов оценивалась величиной разрывной нагрузки вдоль шва.

По результатам экспериментальных исследований построена многомерная модель процесса лазерной сварки, которая представлена в работе девятью чертежами плоскостей проекций. На рисунках 8, 9 показаны пять из них, где параметр расстояния от среза сопла l изменяется по оси x_1 . Линии, выделенные разным цветом, соответствуют сочетанию параметров мощности и скорости.

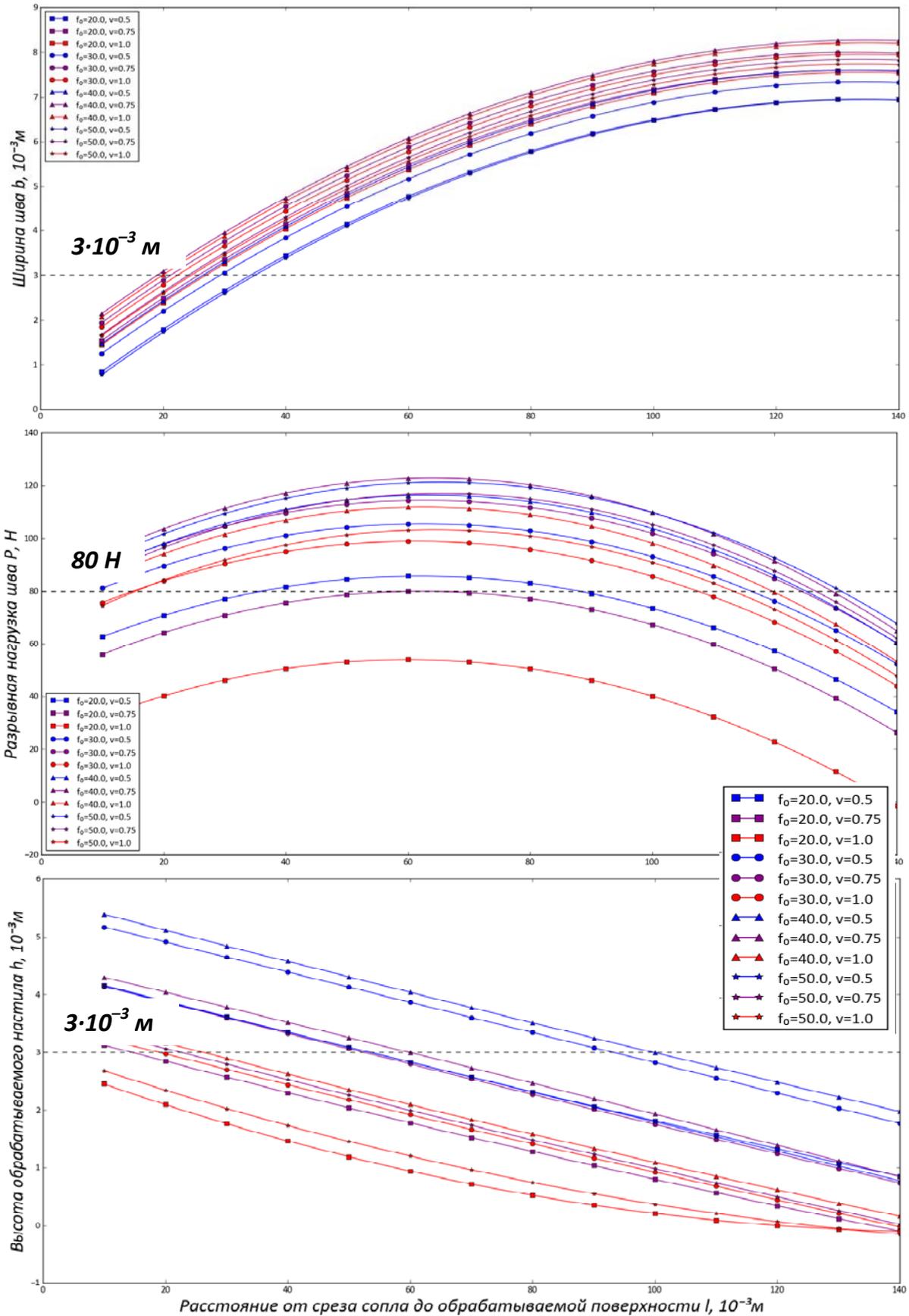


Рисунок 8 – Геометрическая модель процесса лазерной сварки текстильного термопластичного материала

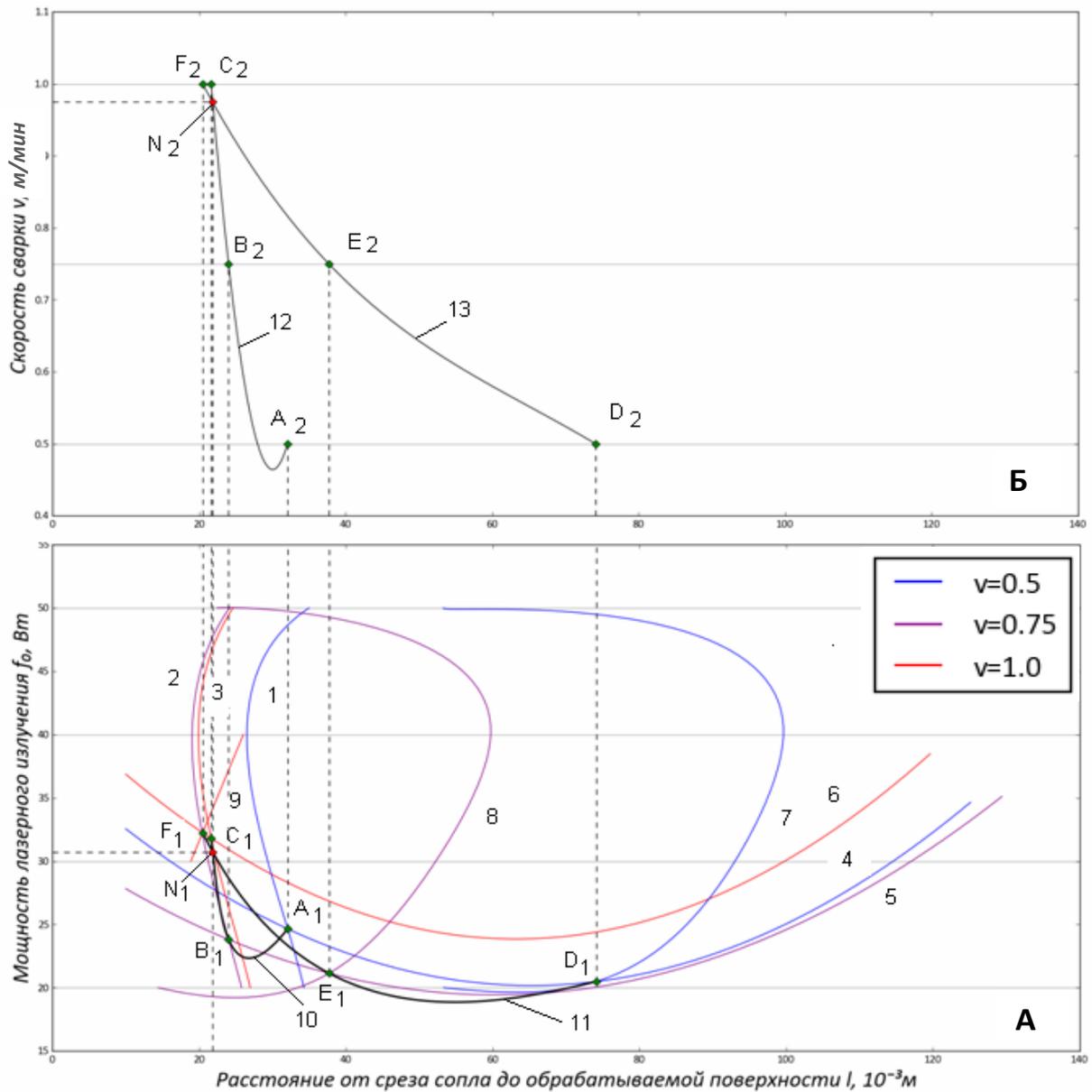


Рисунок 9 – Области значений параметров процесса лазерной сварки

Из чертежей видно, что для получения сварного шва высоту настила можно линейно уменьшать от $4 \cdot 10^{-3}$ м для $l = 10 \cdot 10^{-3}$ м до $0,7 \cdot 10^{-3}$ м для $l = 140 \cdot 10^{-3}$ м, для всех сочетаний параметров в интервале от $10 \cdot 10^{-3}$ м до $70 \cdot 10^{-3}$ м разрывная нагрузка шва возрастает, а при последующем увеличении расстояния происходит её снижение, также с увеличением параметров ширина шва нелинейно увеличивается от $1,0 \cdot 10^{-3}$ м до $8,0 \cdot 10^{-3}$ м, а дальнейшее увеличение l приводит к непровариванию настила ТТМ.

Технологические параметры сваривания определены для заданных условий: в настиле высотой $h = 3 \cdot 10^{-3}$ м должен быть получен шов шириной $b = 3 \cdot 10^{-3}$ м с разрывной нагрузкой $P \geq 80$ Н.

На модели задают плоскости уровня, соответствующие значениям критериев и получают сечения полученной гиперповерхности. Линии сечения (на рисунке 9 позиции 1–9): для ширины шва – 1, 2, 3; для разрывной нагрузки

– 4, 5, 6; для высоты настила – 7, 8, 9. Линии соответствуют определенному значению скорости: 1, 4, 7 получены для $v = 0,5$ м/мин; 2, 5, 8 для $v = 0,75$ м/мин, 3, 6, 9 для $v = 1,0$ м/мин.

Области значений параметров получения сварных швов, отвечающих трём критериям, определяются пересечением линий: для прочности и высоты настила точки A_1, B_1, C_1 ; для прочности и ширины шва – D_1, E_1, F_1 . Пресечение линий, проведённых через найденные точки, определяет два параметра: мощность и расстояние (на рисунке 9 позиции 10, 11 и N_1), а пресечение линий, проведённых через проекции этих точек, искомую скорость (позиции 12, 13 и N_2).

Таким образом, для ТТМ на тканой основе с ПВХ покрытием сварной шов шириной $b = 3 \cdot 10^{-3}$ м может быть получен в настиле высотой $h = 3 \cdot 10^{-3}$ м при мощности $f_0 = 30$ Вт, скорости $v = 0,8$ м/мин, давлении газа $g = 0,12$ МПа и расстоянии от лазера до поверхности настила $l = 22,0 \cdot 10^{-3}$ м. При таких параметрах прочность на разрыв сварного шва $P \geq 80$ Н. Точность геометрической многомерной модели определена по критерию Стьюдента с уровнем значимости 0,05.

Моделирование процесса дублирования ткани термоклеевыми прокладочными материалами. Процесс дублирования характеризуется разнообразием применяемых термоклеевых прокладочных материалов (ТКПМ), из которых, при правильном выборе технологических режимов склеивания, может быть получена новая система материалов с требуемой формоустойчивостью. Для получения дублированных систем, соответствующих различным участкам мужского костюма были использованы смешанная костюмная ткань и универсальные ТКПМ тканые и трикотажные.

Критерии, определяющие качество дублированной системы: жёсткость (EI , мкН·см²) и прочность (R , кН/м) клеевого соединения.

В соответствии с возможностями оборудования дублирование выполняли в диапазоне режимов, рекомендованных для ТКПМ, при различных сочетаниях параметров: температура $t = 140 - 160$ °С с интервалом варьирования 10 °С; время прессования $\tau = 10,0 - 60,0$ с, интервал варьирования 5 с; усилие сжатия постоянное – 33 г/см² (45 кг).

Для установления взаимосвязи режимов склеивания и свойств соединений по экспериментальным данным была построена многомерная геометрическая модель процесса дублирования костюмной ткани ТКПМ в указанном диапазоне параметров (рисунок 10).

По модели видно, что у полученных дублированных систем с ТКПМ на трикотажной основе значения жёсткости находится в интервале от 12000 до 20000 мкН·см² и они являются взаимозаменяемыми. Для тканого прокладочного материала жёсткость полученной системы выше 45000 мкН·см². Дублированные системы с жёсткостью от 20000 до 40000 мкН·см² для исследованных материалов не могут быть получены. В заданном интервале параметров прочность склеивания возрастает с увеличением времени прессования и температуры. Для исследованных материалов могут быть получены дублированные системы с прочностью склеивания выше 3,5 кН/м.

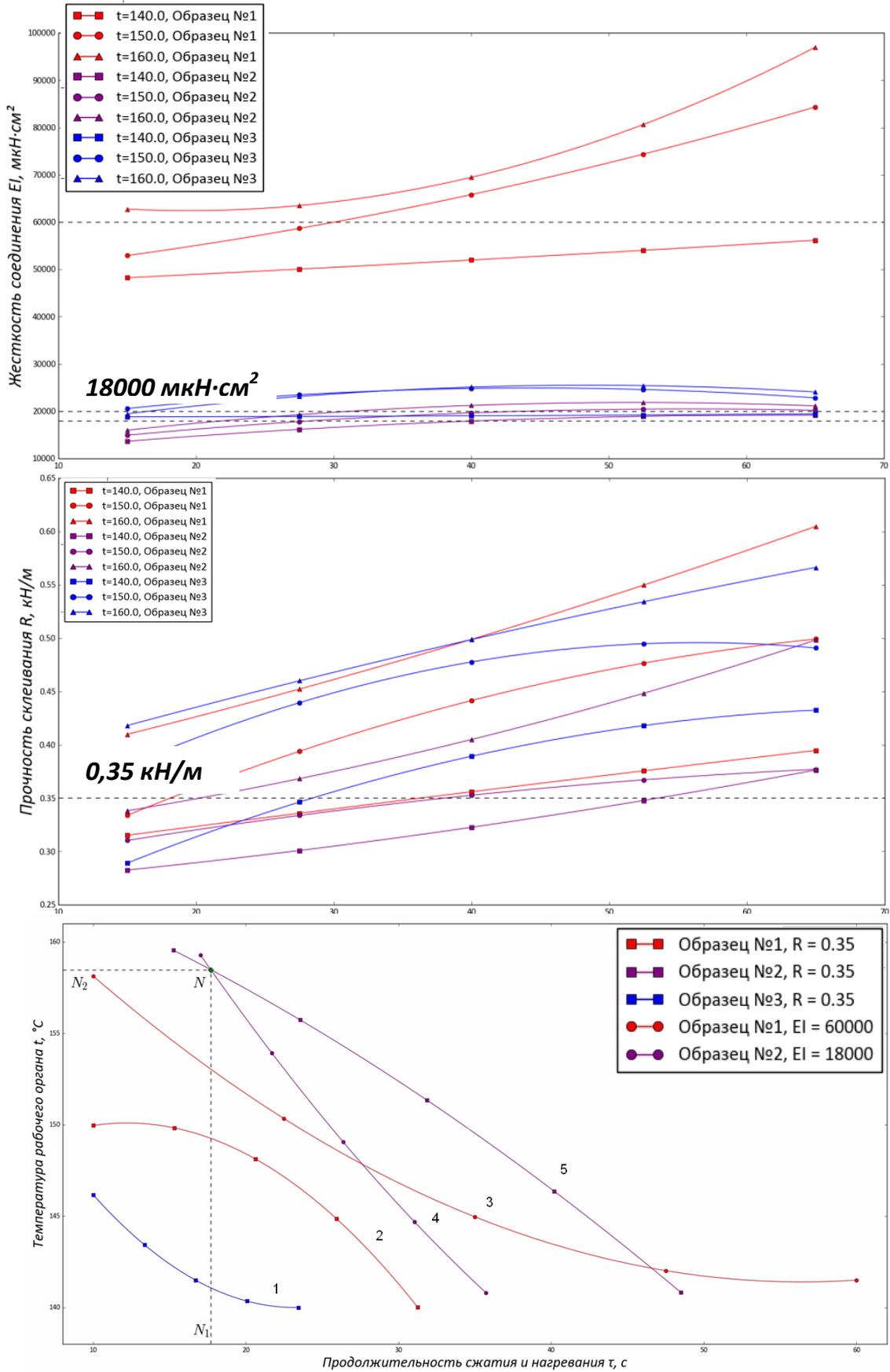


Рисунок 10 – Геометрическая модель процесса дублирования костюмной ткани термоклеевыми прокладочными материалами

Параметры дублирования определялись для изделия мягкой формы, у которого прочность склеивания должна быть не ниже нормативной, а жёсткость можно условно принять равной $18000 \text{ мкН}\cdot\text{см}^2$.

На модели задаются уровни, соответствующие значениям критериев и строятся сечения, которые определяют область параметров (на рисунке 10 представлены совокупностью линий 1–5).

Параметры дублирования для заданной прочности склеивания определяются линиями (1) – для ТКПМ на трикотажной основе поперечновязаного переплетения, (2) – для ТПКМ на тканой основе и (5) – для ТПКМ на трикотажной основе основовязаного переплетения.

По модели установлено, что дублированную систему с заданной совокупностью показателей свойств можно получить с ТКПМ на трикотажной основе основовязаного переплетения при следующих параметрах: время $t^N = 18 \text{ с}$ и температура $\tau^N = 158 \text{ }^\circ\text{C}$, давление 33 г/см^2 .

Для более жёсткой формы участков изделия принята $EI \geq 60000 \text{ мкН}\cdot\text{см}^2$. Установлено, что на модели данному значению соответствует линия (3) для системы с ТПКМ на тканой основе. Поскольку линия не пересекается с линией (2), дублированная система с требуемой жёсткостью в указанном диапазоне параметров будет иметь прочность $R > 0,35 \text{ кН/м}$.

Таким образом, методология применима к широкому кругу процессов с числом варьируемых параметров более двух. При этом возможно варьировать не только параметры, но и критерии.

Выбор параметров пакета с несвязанным наполнителем. Теплозащитные свойства перо-пуховых пакетов швейных изделий определяются не только качеством утеплителя, но и его массой, необходимой для обеспечения комфортных условий в холодное время года. С учётом конкретных климатических условий регионов РФ, нужно и можно обеспечить разные свойства одежде, закладывая в пакет разное количество наполнителя. Современное оборудование позволяет вносить в каждый отсек пакета швейного изделия дозированную массу наполнителя. Важно задать режим работы дозатора, для чего необходимо рассчитать массу наполнителя.

Объектами исследования являлись перо-пуховые пакеты двух видов конструкций (таблица 2). Для формирования пакетов выбраны современные материалы, применяемые при производстве мужской, женской и детской пуховой одежды:

– основные: курточные полиэфирные ткани различной поверхностной плотности и толщины;

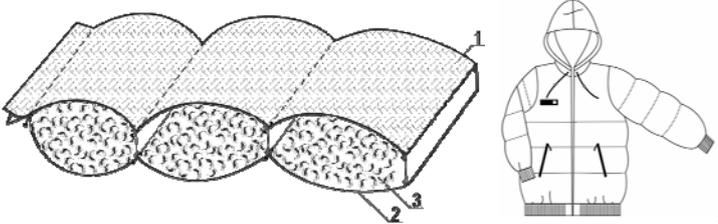
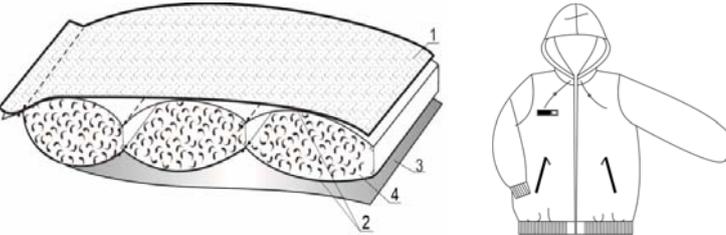
– пуходержащая ткань Taffeta 290T Cire (НПэф);

– подкладочная ткань из полиэфирных нитей;

– утепляющий слой: гусиный перо-пуховой наполнитель (15/85), %.

Образцы пакетов получали путём комбинации материалов и изменения количества наполнителя в отсеках. Масса утеплителя составляла от 2,5 до 20,0 г в отсеке размером $120 \times 300 \text{ мм}$.

Таблица 2 – Конструктивные решения теплозащитных пакетов

Состав пакетов	Графическое изображение
Трёхслойный: 1, 2 – пуходержащая ткань; 3 – перо-пуховой полуфабрикат	
Пятислойный: 1 – ткань верха; 2 – пуходержащая ткань; 3 – подкладочная ткань; 4 – перо-пуховой полуфабрикат	

Для исследования суммарного теплового сопротивления разработаны экспресс-метод и прибор, позволяющие проводить испытания в реальных климатических условиях при пониженных температурах, ветровых нагрузках, относительной влажности.

В соответствии с планом эксперимента исследования суммарного теплового сопротивления пакетов проводились при нормальных условиях $T_b = 20 \pm 2$ °С; при пониженных температурах, соответствующих осенне-зимнему периоду -5 °С, -15 °С, -25 °С и скорости ветра 5–10 м/с.

Исходными данными для построения модели являлись: масса наполнителя (m , г) и суммарное тепловое сопротивление пакета ($R_{\text{сум}}$, м²·К/Вт) при заданной температуре окружающего воздуха (T_b , °С).

На рисунке 11 представлена геометрическая модель, верхняя часть которой отражает изменения суммарного теплового сопротивления в зависимости от варьируемых параметров, нижняя часть – определение массы наполнителя для заданных значений $R_{\text{сум}}$ и температуры.

В ходе исследования выявлено, что с увеличением массы наполнителя в отсеке трёхслойных пакетов до 12,5–15,0 г, а в пятислойных до 15,0–17,5 г тепловое сопротивление пакетов возрастает, дальнейшее увеличение массы приводит к его снижению (таблица 3). При пониженных температурах наблюдается снижение суммарного теплового сопротивления в 1,5–2 раза.

По модели установлено, что для обеспечения заданного суммарного сопротивления $R_{\text{сум}} = 0,6$ м²·К/Вт при температуре -10 °С масса наполнителя должна выбираться в интервале от 7,0 до 14,0 г в зависимости от материала верха, а при -20 °С – в интервале от 12,0 до 16,5 г.

В результате моделирования получены новые параметры пакетов теплозащитной одежды с несвязным наполнителем, которые могут быть использованы в проектировании одежды и при выборе режимов работы дозатора.

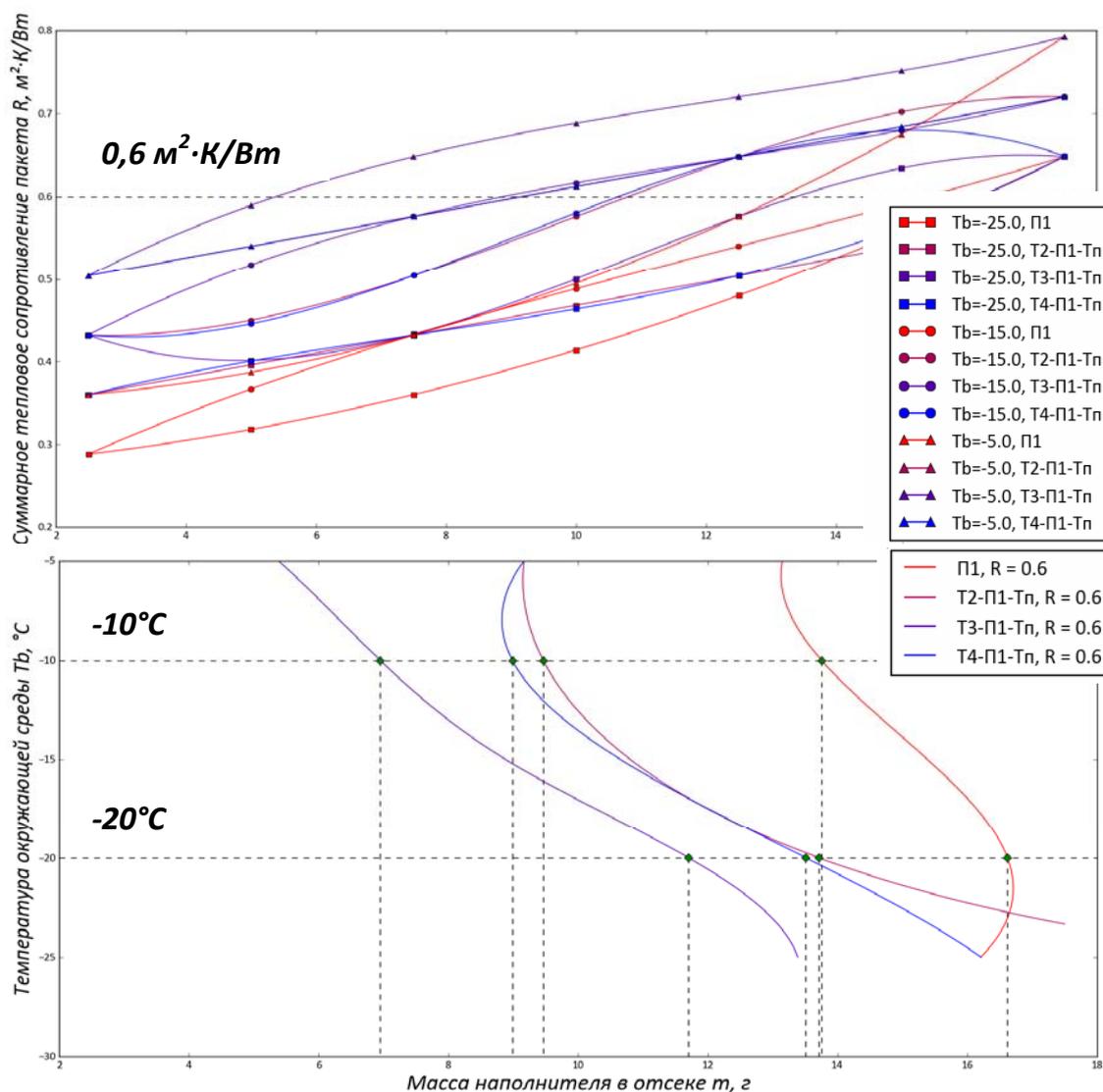


Рисунок 11 – Геометрическая модель выбора параметров теплозащитного пакета с несвязанным утеплителем

Таблица 3 – Суммарное тепловое сопротивление $R_{\text{сум}} (m^2 \cdot K/W)$ пакетов с различной массой наполнителя

Масса наполнителя в отсеке (m), г	Климатические условия			
	Нормальные условия ($T = 20 \pm 2 \text{ } ^\circ\text{C}$)	В условиях пониженных температур		
		$-5 \text{ } ^\circ\text{C}$	$-15 \text{ } ^\circ\text{C}$	$-25 \text{ } ^\circ\text{C}$
2,5	0,432	0,360	0,288	0,288
7,5	0,720	0,432	0,432	0,360
12,5	0,936	0,576	0,504	0,504
17,5	1,080	0,792	0,648	0,648

Таким образом подтверждено, что предложенный подход позволяет получать базовые параметры, осуществлять выбор оборудования и разработать задание для проектирования технологической оснастки с учётом установленных режимов процесса и обеспечения требуемых свойств изделий.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

В работе изложены научно обоснованные технологические решения, внедрение которых позволит за счёт повышения конкурентоспособности выпускаемых изделий и экономии ресурсов внести значительный вклад в развитие отечественной швейной промышленности.

Основным научным результатом является методология параметрического проектирования технологических процессов швейного производства и метод её реализации на основе многомерного геометрического моделирования, применение которой обеспечит получение параметров для расширения производства продукции с заданными свойствами в действующих процессах и разработки новых процессов, для повышения качества и надёжности изделий.

По результатам работы сформулированы следующие **выводы, предложения и рекомендации:**

1. Выявлена одна из ключевых проблем отечественной швейной промышленности, заключающаяся в ограниченных возможностях действующих технологических процессов для изготовления продукции требуемого качества, как при внедрении новых материалов, конструкций и форм изделий, так и нового оборудования. Показан принципиально параметрический и многокритериальный характер задач проектирования технологических процессов швейного производства и отмечена сложность получения их адекватного решения на основе традиционных подходов, базирующихся на однокритериальных задачах и вероятностно-статистических методах.

2. Актуальность задачи параметрического проектирования технологических процессов швейного производства обусловлена целенаправленным изменением свойств материалов при составлении пакетов и получении их соединений, а следовательно, необходимостью выбора режимов оборудования, обеспечивающих качество и надёжность, рациональное использование ресурсов. Решение подобных задач в масштабах отрасли сопряжено со значительными объёмами исследований, которые должны проводиться на новом уровне с применением современных методов и средств, учитывающих многообразие параметров и критериев, и возможности IT-технологий.

3. Предложен теоретический подход к параметрическому проектированию технологических процессов на основе системного анализа, функционального и многомерного геометрического моделирования, который позволяет получать значения параметров технологических режимов в широком интервале возможных параметров процесса, свойств исходных материалов и при изменяющихся требованиях к качеству, задаваемому совокупностью свойств продукции. Графическое представление параметрического процесса доступно для анализа, что удобно для специалистов.

4. Сформулированы основные положения, согласно которым при проектировании параметрический технологический процесс и возможные его состояния представляются на многомерном комплексном чертеже геометрической моделью в виде гиперповерхности из совокупности каркасов, отражающих взаимозависимости параметров и критериев. Параметры режимов

отдельного технологического процесса, процесса в определенный момент времени, будут представлять собой некоторую область гиперповерхности, которая может быть получена путём решения позиционных задач.

5. Теоретически разработано, практически апробировано математическое обеспечение построения многомерных моделей и решения позиционных задач, включающее формализованный геометрический аппарат и алгоритмическое обеспечение его реализации, которые представляют возможности для графоаналитического решения, с требуемой точностью, широкого круга задач параметрического проектирования отраслевых технологических процессов.

6. Впервые получена универсальная геометрическая многомерная модель параметрического технологического процесса, которая представляет собой каркасную гиперповерхность с размерностью, равной числу параметров и критериев процесса, варьируя которыми можно решать задачи проектирования различные по целям и сложности.

7. Для реализации методологии параметрического проектирования, возможности её применения в научных исследованиях и практической деятельности отраслевых предприятий предложен метод, в котором в типовую схему проектирования процессов швейного производства включен геометрический аппарат многомерного моделирования, который реализован программными средствами, алгоритмами, базой данных и пользовательским интерфейсом, адаптированными к процессам и материалам швейного производства.

8. В соответствии с предложенной методологией экспериментально исследованы свойства текстильных материалов, используемых в производстве швейных изделий и свойства их сварных и ниточных соединений; свойства дублированных систем из костюмных тканей и клеевых прокладочных материалов с различными видами основы; параметры пакетов теплозащитной одежды с несвязным наполнителем; изучены и математически описаны взаимозависимости свойств в широком диапазоне параметров процессов.

9. Выполнено параметрическое проектирование технологических процессов и получены геометрические модели процессов сварки ТТМ, ниточного соединения, дублирования термоклеевыми прокладочными материалами. Модели, в зависимости от задачи проектирования, пакета материалов изделия, числа параметров и критериев процесса и возможности их варьирования в широком интервале, позволяют установить области значений параметров и режимы получения соединений требуемого качества при технологической подготовке массового производства швейных изделий.

10. На геометрических моделях проведены исследования. По геометрической модели процесса сварки с использованием CO_2 лазера, построенной в интервале скорости от 0,5 до 1,0 м/мин и мощности лазерной установки от 20 до 50 Вт; при высоте настила от $0,7 \times 10^{-3}$ м до $4 \cdot 10^{-3}$ м определены области значений параметров и технологические режимы получения сварного шва с заданными характеристиками, позволяющие осуществить выбор

оборудования, программировать траекторию движения лазерной головки для получения изделий сложной формы.

11. Получена геометрическая модель процесса дублирования костюмных тканей и исследовано влияние режимов дублирования и видов прокладочных материалов на возможность получения систем с заданной жёсткостью в интервале от 12000 мкН·см² до 20000 мкН·см², полученные результаты применимы как для проектирования изделий, так и для установления параметров прокладочных материалов на этапе их разработки.

12. Апробация полученных научно-технических решений при создании швейных изделий различных видов подтвердила соответствие получаемой продукции совокупности важных потребительских качеств и показала высокий потенциал для повышения её конкурентоспособности.

Разработанные в диссертации теоретические положения и методологические подходы в совокупности являются методологией, которая применима к совершенствованию проектирования технологических процессов не только в швейной, но и других отраслях промышленности.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в ведущих рецензируемых научных журналах, рекомендуемых ВАК РФ для опубликования основных научных результатов докторских диссертаций:

1. *Чижик, М. А.* Прогнозирование долговечности соединений текстильных термопластичных материалов, выполненных с использованием лазерной технологии / М. А. Чижик, Ю. И. Матяш // Омский научный вестник. – 2000. – № 12. – С. 58-60.

2. *Иванцова, Т. М.* Исследование формообразования поясных изделий из эластичных материалов с целью разработки рациональных конструкций. / Т. М. Иванцова, М. А. Чижик // Омский научный вестник – 2002. – № 19. – С. 20-21.

3. *Чижик, М. А.* Исследование факторов, влияющих на процесс обработки текстильных материалов лазерным излучением / М. А. Чижик, Ю. И. Матяш, Ю. Н. Волкова // Омский научный вестник. – 2002. – № 21. – С. 54-57.

4. *Волкова, Ю. Н.* Автоматизация швейного производства на базе лазерной обработки материалов / Ю. Н. Волкова, М. А. Чижик, В. В. Пластинин // Омский научный вестник. – 2003. – № 1 (22). – С. 127-129.

5. *Устинова, О. В.* Геометрическое моделирование процесса лазерной сварки текстильных термопластичных материалов / О. В. Устинова, М. А. Чижик, В. Я. Волков // Омский научный вестник. – 2004. – № 3 (28). – С. 128-132.

6. *Юферова, Л. В.* Исследование формообразующих свойств эластичных материалов / Л. В. Юферова, Т. М. Иванцова, Н. А. Смирнова, М. А. Чижик // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. – 2005. – № 2. – С. 83-85.

7. *Зураева, З. Р.* Математические модели сечений теплозащитных пакетов одежды с объёмными наполнителями / З. Р. Зураева, М. А. Чижик, М. Н. Рассказова // Известия высших учебных заведений. Технология лёгкой промышленности. – 2010. – Т. 9, № 3. – С. 62-66.

8. *Чижик, М. А.* Моделирование технологических процессов швейного производства методами многомерной начертательной геометрии / М. А. Чижик,

В. Я. Волков // Известия высших учебных заведений. Технология лёгкой промышленности. – 2010. – Т. 8, № 2. – С. 70-74.

9. Чижик, М. А. Автоматизация проектирования оптимальных пакетов одежды с учётом теплозащитных свойств / М. А. Чижик, М. Н. Рассказова, И. А. Шевелёва // Омский научный вестник. – 2012. – № 2 (110). – С. 262-266.

10. Чижик, М. А. Расчёт оптимальной массы перо-пухового наполнителя в пакете одежды при заданных характеристиках воздухопроницаемости / М. А. Чижик, Т. М. Иванцова // Известия высших учебных заведений. Технология лёгкой промышленности. – 2012. – Т. 15, № 1. – С. 61-64.

11. Чижик, М. А. Алгоритмы конструирования графических оптимизационных моделей многофакторных процессов / М. А. Чижик, К. С. Яковенко, В. Я. Волков // Омский научный вестник. – 2012. – № 1 (107). – С. 17-20.

12. Чижик, М. А. Графические оптимизационные модели многопараметрических технологических процессов лёгкой промышленности [Электронный ресурс] / М. А. Чижик, В. Я. Волков // Инженерный вестник Дона. – 2012. – № 3. – Режим доступа : <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n3y2012/901>, свободный. – Загл. с экрана.

13. Чижик, М. А. Программное обеспечение для построения графических оптимизационных моделей многофакторных процессов / М. А. Чижик, В. Я. Волков, Е. Я. Сурженко // Вестник СибАДИ. – 2012. – № 5 (27). – С. 95-101.

14. Чижик, М. А. Применение методов инженерной геометрии для решения задач оптимизации многофакторных процессов / М. А. Чижик, В. Я. Волков, Е. Я. Сурженко // Вестник ТГТУ. – 2012. – № 4 (18). – С. 840-848.

15. Чижик, М. А. Метод определения суммарного теплового сопротивления материалов и пакетов одежды / М. А. Чижик, Т. М. Иванцова, Е. Ю. Долгова, Т. Ю. Каргаполова // Известия высших учебных заведений. Технология лёгкой промышленности. – 2013. – Т. 19, № 1. – С. 20-22.

16. Чижик, М. А. Геометрическое моделирование многофакторных процессов на базе проекционных алгоритмов / М. А. Чижик, М. Н. Московцев, Д. П. Монастыренко // Омский научный вестник. – 2013. – № 1 (117). – С. 14-17.

17. Чижик, М. А. Графическая модель оптимизации параметров ниточного соединения деталей одежды / М. А. Чижик // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. – 2013. – № 5 (347). – С. 86-90.

18. Чижик, М. А. Построение многокритериальной модели конкурентоспособности швейной продукции с помощью обобщённой функции свёртки / М. А. Чижик, М. Н. Рассказова, И. А. Шевелёва // Омский научный вестник. – 2014. – № 1 (127). – С. 26-28.

19. Чижик, М. А. Маркетинговые исследования и оценка конкурентоспособности теплозащитной одежды с объёмными материалами / М. А. Чижик, И. А. Шевелёва // Известия высших учебных заведений. Технология лёгкой промышленности. – Т. 24, № 2. – 2014. – С. 96-99.

20. Чижик, М. А. Структурный подход к моделированию многокомпонентных систем материалов для изделий лёгкой промышленности / М. А. Чижик, М. Н. Рассказова, В. И. Стариков // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. – 2014. – № 6 (354). – С. 89-94.

21. Чижик, М. А. Формирование оптимальных пакетов швейных изделий для эксплуатации в условиях пониженных температур / М. А. Чижик, Т. М. Иванцова //

Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. – 2015. – № 3 (357). – С. 120-126.

22. *Чижик, М. А.* Исследование суммарного теплового сопротивления перо-пуховых пакетов швейных изделий в различных эксплуатационных условиях / М. А. Чижик, Т. М. Иванцова, Д. В. Доркин // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. – 2016. – № 2 (362). – С. 160-164.

23. *Чижик, М. А.* Развитие методов проектирования одежды на основе IT-технологий / М. А. Чижик, И. А. Шевелёва // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. – 2016. – № 3 (363). – С. 190-194.

24. *Чижик, М. А.* Геометрическая модель процесса лазерной сварки текстильного термопластичного материала / М. А. Чижик, Л. Ф. Немирова // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. – 2018. – № 1 (373). – С. 118-123.

Статьи в журналах и научных сборниках:

25. *Чижик, М. А.* Исследование влияния основных режимов процесса лазерной сварки на критерии качества сварных соединений полимерных материалов / М. А. Чижик, Г. Т. Караулова // Современные технологии производства нетканых материалов, кожи и меха : сборник статей. – СПб : СПбГУТД, 2000. – С. 93-97.

26. *Чижик, М. А.* Разработка методики формирования геометрических характеристик сварного соединения полимерных материалов с учётом условий фокусировки лазерного излучения / М. А. Чижик, Г. Т. Караулова // Современные технологии производства нетканых материалов, кожи и меха : сборник статей. – СПб. : СПбГУТД, 2000. – С. 88-92.

27. *Чижик, М. А.* Разработка способа лазерной сварки текстильных термопластичных материалов / М. А. Чижик, О. В. Кожемяко // Доклады Омского отделения Международной академии наук экологии и безопасности жизнедеятельности. – Омск : Вестник МАНЭБ, 2001. – С. 88-90.

28. *Чижик, М. А.* Математическая модель процесса лазерной сварки текстильных термопластичных материалов / М. А. Чижик, О. В. Кожемяко, Ю. Л. Иванюков // Научно-методический сборник. – Вып. 50, ч 1. – Омск : ОТИИ, 2001. – С. 169-172.

29. *Чижик, М. А.* Особенности использования оптических квантовых генераторов при обработке материалов / М. А. Чижик, Ю. Н. Волкова // Электромагнитные процессы в электрических машинах : межвузовский тематический сборник научных трудов. – Омск : ОГУПС, 2003. – С. 58-65.

30. *Устинова, О. В.* Геометрическое моделирование для решения задач оптимизации основных параметров процесса лазерной сварки текстильных термопластичных материалов [Электронный ресурс] / О. В. Устинова, В. Я. Волков, М. А. Чижик // Прикладная геометрия : научный журнал. – М. : МАИ, 2006. – Вып. 8, № 18 – Режим доступа : <http://www.mai.ru>, свободный. – Загл. с экрана.

31. *Чижик, М. А.* Перспективы применения методов многомерной геометрии для оптимизации процесса склеивания деталей швейных изделий / М. А. Чижик, Е. Ю. Долгова // Техничко-технологические проблемы сервиса. – 2011. – № 4 (18). – С. 35-40.

32. *Чижик, М. А.* Метод комплексной оценки свойств соединений деталей швейных изделий / М. А. Чижик // Вестник КНУТД. – 2013. – № 3 (71). – С. 121-128.

33. *Чижик, М. А.* Моделирование процесса дублирования текстильных материалов [Электронный ресурс] / М. А. Чижик, Л. Ф. Немирова // Проблемы

современной науки и образования / Problems of modern science and education. – 2016. – № 39 (81). – Режим доступа : <https://ipi1.ru/s/05-00-00-tekhnicheskie-nauki/1311-modelirovanie-protsesta.html>, свободный. – Загл. с экрана.

Монографии:

34. *Волков, В. Я.* Графические оптимизационные модели многофакторных процессов : монография / В. Я. Волков, М. А. Чижик. – Омск : Издательство учебной, научной литературы и учебно-методических пособий, ОГИС, 2009. – 101 с.

35. *Чижик, М. А.* Моделирование процессов соединения деталей швейных изделий : монография / М. А. Чижик, В. Я. Волков. – Омск : Издательство учебной, научной литературы и учебно-методических пособий, ОГИС, 2010. – 147 с.

36. *Чижик, М. А.* Проектирование швейных изделий из систем материалов с объёмными утеплителями : монография / М. А. Чижик, Т. М. Иванцова. – Омск : Издательство учебной, научной литературы и учебно-методических пособий, ОГИС, 2014. – 112 с.

Материалы конференций:

37. *Чижик, М. А.* Прогнозирование долговечности соединений текстильных термопластичных материалов, выполненных с использованием лазерной технологии / М. А. Чижик, Ю. И. Матяш // Динамика систем, механизмов и машин : материалы III Международной научно-технической конференции (28–26 октября 1999 г.). – Омск : ОмГТУ, 1999. – С. 262-263.

38. *Чижик, М. А.* Установление оптимальных режимов технологического процесса лазерной сварки деталей одежды из материалов с полимерным покрытием / М. А. Чижик // Новые разработки учёных ВУЗа для предприятий сервиса и малого бизнеса : материалы докладов внутривузовской научно-практической конференции 1997 г. ; под ред. Н. У. Казачуна. – Омск : ОГИС, 1999. – Вып. 3, ч. 1. – С. 100-101.

39. *Чижик, М. А.* Возможности повышения эффективности использования лазерной технологии в швейном производстве / М. А. Чижик // Новые разработки учёных ВУЗа для предприятий сервиса и малого бизнеса : материалы докладов внутривузовской научно-практической конференции 1997 г. ; под ред. Н. У. Казачуна. – Омск : ОГИС, 1999. – Вып. 3, ч. 1. – С. 102.

40. *Чижик, М. А.* Разработка лазерной технологии изготовления изделий одежды / М. А. Чижик // Новые разработки учёных ВУЗа для предприятий сервиса и малого бизнеса : материалы докладов внутривузовской научно-практической конференции 1997 г. ; под ред. Н. У. Казачуна. – Омск : ОГИС, 1999. – Вып. 3, ч. 2. – С. 50.

41. *Чижик, М. А.* Исследование процесса воздействия лазерного излучения на текстильные материалы при их обработке / М. А. Чижик, А. А. Колоколов, Ю. Н. Волкова // Современные наукоёмкие технологии и перспективные материалы текстильной и лёгкой промышленности (Прогресс–2002) : сборник материалов. – Иваново : ИГТА, 2002. – С. 281-282.

42. *Волкова, Ю. Н.* Математическое моделирование процесса воздействия лазерного излучения на текстильные материалы / Ю. Н. Волкова, М. А. Чижик, А. А. Колоколов // Молодежь. Наука. Творчество : материалы межвузовской научно-практической конференции студентов и аспирантов ; под ред. Н. У. Казачуна. – Омск : ОГИС, 2003. – С. 127-128.

43. *Устинова, О. В.* Оптимизация основных параметров процесса лазерной сварки текстильных термопластичных материалов по критериям качества сварного соединения на основе методов многомерной геометрии / О. В. Устинова, М. А. Чижик,

В. Я. Волков // Проблемы совершенствования качественной подготовки специалистов высшей квалификации : материалы II Международной научно-практической конференции ; под ред. Н. У. Казачуна. – Омск : ОГИС, 2004. – С. 107-108.

44. *Чижик, М. А.* Геометрическое моделирование процесса лазерной сварки текстильных термопластичных материалов / М. А. Чижик, О. В. Устинова, В. Я. Волков // XXXV Томская городская научно-методическая конференция по начертательной геометрии, инженерной и компьютерной графике : сборник статей. – Томск : Томский политехнический университет, 2004. – С. 18.

45. *Чижик, М. А.* Геометрическое моделирование с целью оптимизации параметров ниточных соединений / М. А. Чижик, О. В. Устинова // Тенденции и перспективы развития лёгкой промышленности, повышения конкурентоспособности товаров в период подготовки к вступлению России в ВТО. II Международный фестиваль «Формула моды». Научно-практическая конференция: сборник статей ; под ред. Н. У. Казачуна. – Омск : ОГИС, 2005. – С. 127-130.

46. *Чижик, М. А.* Исследование оптимальных условий соединения текстильных материалов методами геометрии многомерного пространства / М. А. Чижик, О. В. Устинова, В. Я. Волков, Е. Л. Хлебникова // Региональные аспекты развития лёгкой промышленности в России. Перспективы, конкурентоспособность. III Международный фестиваль «Формула моды». Научно-практическая конференция: сборник статей ; под ред. Н. У. Казачуна. – Омск: ОГИС, 2006. – С. 14-15.

47. *Устинова, О. В.* Геометрия многомерного пространства для оптимизации, автоматизации и прогнозирования процессов соединения текстильных материалов / О. В. Устинова, М. А. Чижик, В. Я. Волков // Теоретические знания – в практические дела. Межвузовская научно-практическая конференция аспирантов и студентов с международным участием : сборник статей. – Омск : РосЗИТЛП филиал в г. Омске, 2006. – С. 9-13.

48. *Чижик, М. А.* Определение оптимальных условий ниточного соединения текстильных материалов по критериям качества / М. А. Чижик, О. В. Устинова, Т. Ю. Каргополова // Проблемы совершенствования качества подготовки специалистов высшей квалификации. Форум «Омская школа дизайна». IV Международная научно-практическая конференция : сборник статей ; под ред. Н. У. Казачуна. – Омск: ОГИС, 2006. – С. 120-122.

49. *Тунгусова, Н. А.* Разработка классификации ячеистых структур швейных изделий бытового и специального назначения / Н. А. Тунгусова, М. А. Чижик, Ж. Ю. Койтова // Региональные аспекты развития лёгкой промышленности в России. Перспективы, конкурентоспособность. III Международный фестиваль «Формула моды». Научно-практическая конференция : сборник статей ; под ред. Н. У. Казачуна. – Омск : ОГИС, 2006. – С. 12-13.

50. *Тунгусова, Н. А.* Совершенствование конструкций пакетов теплозащитной одежды путём применения переборок новой формы / Н. А. Тунгусова, М. А. Чижик, Ж. Ю. Койтова // Государственная политика и научно-инновационная деятельность в сфере лёгкой промышленности. Региональный аспект. IV Международный фестиваль «Формула моды» Научно-практическая конференция (17–20 апреля 2007 г.) : сборник статей ; под ред. Н. У. Казачуна. – Омск : ОГИС, 2006. – С. 203-207.

51. *Чижик, М. А.* Совершенствование геометрической модели сечений отсеков одежды с объёмными наполнителями / М. А. Чижик, Н. А. Тунгусова // Государственная политика и научно-инновационная деятельность в сфере лёгкой

промышленности. Региональный аспект. IV Международный фестиваль «Формула моды». Научно-практическая конференция (17–20 апреля 2007) : сборник статей ; под ред. Н. У. Казачуна. – Омск : ОГИС, 2007. – С. 207-210.

52. *Устинова, О. В.* Разработка многокритериальной геометрической оптимизационной модели для технологических процессов швейного производства / О. В. Устинова, М. А. Чижик, Т. Ю. Каргополова // Современные проблемы геометрического моделирования : материалы II Украинско-российской научно-практической конференции (24–27 апреля 2007) : сборник статей. – Харьков, 2007. – С. 233-238.

53. *Чижик, М. А.* Применение методов многомерной начертательной геометрии для оптимизации параметров ниточного соединения текстильных материалов по критериям качества / М. А. Чижик, О. В. Устинова, Т. Ю. Каргополова // Современные тенденции и перспективы развития образования в высшей школе. V Международная научно-практическая конференция (17–19 октября 2007) : сборник статей ; под ред. Н. У. Казачуна. – Омск : ОГИС, 2007. – С. 39-41.

54. *Тунгусова, Н. А.* Автоматизация процесса проектирования изделий с объёмными наполнителями / Н. А. Тунгусова, М. А. Чижик // Современные тенденции и перспективы развития образования в высшей школе. V Международная научно-практическая конференция (17–19 октября 2007) : сборник статей ; под ред. Н. У. Казачуна. – Омск : ОГИС, 2007. – С. 34-36.

55. *Чижик, М. А.* Исследование теплозащитных свойств пакетов пуховой одежды с объёмными утеплителями с учётом конструктивных параметров пакетов / М. А. Чижик, Т. Ю. Каргополова // Профессиональное образование в развитии региона и общества : традиции, творчество, технологии : материалы Международной научно-практической конференции, посвящённой 35-летию ФГБОУ ВПО «ОГИС» ; под ред. Д. П. Маевского. – Омск : ОГИС, 2012. – С. 196.

56. *Чижик, М. А.* Совершенствование методов проектирования пакетов теплозащитной одежды с объёмными утеплителями / М. А. Чижик, И. А. Шевелёва // Профессиональное образование в развитии региона и общества : традиции, творчество, технологии : материалы Международной научно-практической конференции, посвящённой 35-летию ФГБОУ ВПО «ОГИС» ; под ред. Д. П. Маевского. – Омск : ОГИС, 2012. – С. 194.

57. *Чижик, М. А.* Графические методы построения оптимизационных моделей многофакторных процессов / М. А. Чижик // Сфера сервиса : состояние и перспективы развития : материалы Международной научно-практической конференции ; под ред. Д. П. Маевского. – Омск : ОГИС, 2011. – С. 141.

58. *Чижик, М. А.* Особенности формирования пакетов и обеспечение качества одежды с перопуховым наполнителем / М. А. Чижик, Т. М. Иванцова // Актуальные проблемы обеспечения качества и конкурентоспособности товаров и услуг в условиях глобализации : материалы международной научно-практической конференции, 26 апреля 2012 г. – Караганда : КЭУК, 2012. – С. 71-74.

59. *Чижик, М. А.* Геометрическое моделирование технологических процессов текстильной и лёгкой промышленности / М. А. Чижик // Актуальные проблемы науки в развитии инновационных технологий («ЛЁН-2012») : материалы международной научно-технической конференции, 18–19 октября 2012 г. – Кострома : КГТУ, 2012.

60. *Volkov, V.* Methodological bases of geometric modeling multifactorial processes / V. Volkov, O. Plyasova, M. Chizhik // The 16th International Conference on Geometry and

Graphics (ICGG 2014), August 4–8, 2014. – Innsbruck, Austria : University of Innsbruck, 2014. – P. 179-181.

61. *Чижик, М. А.* Моделирование многофакторных процессов лёгкой промышленности / М. А. Чижик // Дизайн, технологии и инновации в текстильной и лёгкой промышленности (ИННОВАЦИИ–2015) : сборник материалов Международной научно-технической конференции. – М. : ФГБОУ ВПО «МГУДТ», 2015. – Ч.1. – С. 204-208.

62. *Чижик, М. А.* Автоматизированная система поддержки геометрического моделирования технологий лёгкой промышленности / М. А. Чижик, М. Н. Московцев, И. В. Федотова // «GraphiCon» : труды 26-й Международной конференции по компьютерной графике и визуализации, 19–23 сентября 2016, Россия, – Нижний Новгород : ННГАСУ, 2016. – С. 513-517.

Патенты, свидетельства о регистрации программ для ЭВМ:

63. Пат. на изобретение № 2011530 Рос. Федерация, МПК 5 В 29 С 65/16. Способ лазерной сварки термопластичных материалов / М. А. Чижик, Т. Н. Сухова, Е. Л. Хлебникова ; заявитель и патентообладатель Санкт-Петербургский институт текстильной и лёгкой промышленности им. С. М. Кирова. – № 5063526 ; заявл. 29.06.1992 ; опубл. 30.04.1994, Бюл. № 8. – 8 с : ил.

64. Пат. на изобретение № 2361491 Рос. Федерация, МПК А 41 D 31/02. Конструкция двухслойного теплозащитного пакета с криволинейными переборами в местах скрепления слоёв / М. А. Чижик, Н. А. Тунгусова, Т. Ю. Каргаполова, М. В. Гохнадель ; заявитель и патентообладатель Омский гос. ин-т сервиса. – № 2007133084 ; заявл. 03.09.2007 ; опубл. 20.07. 2009, Бюл. № 20. – 4 с. : ил.

65. Пат. на изобретение № 2527314 Рос. Федерация, МПК G01N 25/18. Способ определения теплозащитных свойств материалов и пакетов одежды / М. А. Чижик, Е. Ю. Долгова, Т. М. Иванцова ; заявитель и патентообладатель Омский гос. ин-т сервиса. – № 2012155407 ; заявл. 19.12.2012 ; опубл. 27.08.2014, Бюл. № 24. – 6 с. : ил.

66. Пат. на изобретение № 2559568 Рос. Федерация, МПК G01N 33/36. Способ комплексной оценки свойств соединений деталей швейных изделий / М. А. Чижик, В. Я. Волков, М. Н. Московцев, Д. П. Монастыренко ; заявитель и патентообладатель Сиб. гос. автомобильно-дорожная академия. – № 2013114507/15 ; заявл. 01.04.13 ; опубл. 10.08.2015, Бюл. № 22. – 13 с. : ил.

67. Пат. на изобретение № 2589749 Рос. Федерация, МПК G01N25/18, G01N33/36. Контрольно-измерительный прибор для определения теплотехнических параметров текстильных материалов / М. А. Чижик ; заявитель и патентообладатель Омский гос. ин-т сервиса. – № 2014142619, заявл. 22.10.2014 ; опубл. 10.06.2016, Бюл. № 19. – 8 с. : ил.

68. Свидетельство об отраслевой регистрации разработки № 5615. Компьютерная программа «Оптимизация процессов» / О. В. Устинова, В. Я. Волков, М. А. Чижик ; заявитель и патентообладатель Омский государственный институт сервиса. – № 50200600103 ; заяв. 31.01.2006 ; дата регистрации 02.02.2006. – 5 с. : ил.

69. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014610165. «Гиперспуск» / М. А. Чижик, М. Н. Московцев, Д. П. Монастыренко, Доркин Д. В. – № 2013618421/69 ; заяв. 19.07.2013 ; дата регистрации 09.01.2014.

70. Свидетельство об отраслевой регистрации базы данных № 2015620223. «Компоненты систем швейных изделий» / Д. В. Доркин, М. Н. Московцев, М. А. Чижик – № 2014621994/69 ; заяв. 24.12.2014 ; дата регистрации 09.02.2015.