

*На правах рукописи*

Ларина Людмила Васильевна

**МЕТОДОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ И РАЗРАБОТКИ ПРОЦЕССОВ  
И ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ОБРАБОТКИ НАТУРАЛЬНЫХ КОЖ  
ГИГРОТЕРМИЧЕСКИМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ НА ИХ  
МИКРОСТРУКТУРУ В УСЛОВИЯХ ВАКУУМА**

Специальность 05.02.13 – Машины, агрегаты и процессы  
(лёгкая промышленность)

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание учёной степени  
доктора технических наук

Шахты – 2014

Работа выполнена на кафедре «Машины и оборудование бытового и жилищно-коммунального назначения»  
 Института сферы обслуживания и предпринимательства (филиала)  
 Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования  
 «Донской государственной технической университет»  
 в г. Шахты Ростовской области  
 (ИСО и П (филиал) ДГТУ)

Научный консультант: Першин Виктор Алексеевич  
 доктор технических наук, профессор  
 Институт сферы обслуживания и предпринимательства  
 (филиал) ФГБОУ ВПО «Донской государственной  
 технической университет», кафедра «Технические  
 системы ЖКХ и сферы услуг», г. Шахты.

Официальные оппоненты: Махоткина Лилия Юрьевна,  
 доктор технических наук, профессор  
 Институт технологий лёгкой промышленности, моды  
 и дизайна ФГБОУ ВПО «Казанский национальный  
 исследовательский технологический университет»,  
 кафедра «Конструирование одежды и обуви»,  
 г. Казань, зав. кафедрой.  
 Пестриков Виктор Михайлович,  
 доктор технических наук, профессор  
 ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный  
 технологический университет растительных  
 полимеров»,  
 кафедра «Прикладная математика и информатика»,  
 г. Санкт-Петербург.  
 Митин Владимир Васильевич,  
 доктор технических наук, профессор  
 ФГБОУ ВПО «Московский государственный  
 университет пищевых производств», кафедра  
 «Технологические машины и оборудование»,  
 г. Москва.

Ведущая организация: Технологический институт им. Н.Н.Поликарпова  
 ФГБОУ ВПО «Государственный университет –  
 учебно-научно-производственный комплекс», г. Орёл..

Защита состоится « 24 » декабря 2014 г. в 11<sup>00</sup> часов на заседании диссертационного совета Д 212.144.03 при ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет дизайна и технологий» по адресу: 117997, г. Москва, ул. Садовническая, 33, стр. 1, ауд. 156 .

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет дизайна и технологий», [www.mgudt.ru](http://www.mgudt.ru)  
 Автореферат разослан: « » 2014г.

Учёный секретарь  
 диссертационного совета

Феоктистов Н.А.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность проблемы.** Повышение производственного потенциала лёгкой промышленности на основе технического перевооружения и модернизации производств за счёт использования передовых зарубежных технологий и внедрения инновационных отечественных разработок является одной из основных задач Стратегии развития лёгкой промышленности России на период до 2020 года, утверждённой 24 сентября 2009 г. Министерством промышленности и торговли Российской Федерации.

Для реализации этих задач существенная роль отводится малому бизнесу, работающему в сфере лёгкой промышленности, особенностью которого является высокая мобильность, позволяющая предприятиям осуществлять быструю смену ассортимента качественной конкурентоспособной продукции без уменьшения объёма продаж. Эта задача невыполнима без использования современных технологических процессов и оборудования, обеспечивающих наиболее эффективные по степени воздействия на структуру кожевенно-обувных материалов способы обработки.

Следовательно, решение поставленных в Стратегии задач требует исследования и реализации новых способов и оборудования, в том числе и для интенсифицированной гигротермической обработки (ИГО) кожевенно-обувных материалов.

При изготовлении кожаной обуви, доля которой в общем объёме производства составляет порядка 65 %, выполняются такие операции ИГО, как «увлажнение», «влажно-тепловая фиксация», «сушка», «влажно-тепловая обработка», сопровождающиеся гигротермическим воздействием на заготовки верха обуви.

Целью гигротермического воздействия является не только обеспечение требуемого технологией влагосодержания заготовок обуви после каждой операции, но и проведение этих операций с максимально возможной производительностью при минимальных энергетических затратах и гарантированном воздействии на микрокапиллярную структуру кожи.

Анализ исследований в области интенсифицированного гигротермического воздействия (ИГВ) на кожевенно-обувные материалы показывает, что в отечественной и зарубежной практике ведётся активный поиск путей интенсификации технологий, основанных на изменении скорости влагопереноса за счёт применения вакуума, импульсного, циклического его приложения. Однако при этом не учитываются возможности интенсификации процессов за счёт создания строго направленных на бахтармянную сторону заготовок тепло- и влажопотоков и возможного при этом совмещения ряда технологических операций ИГО на соответствующем унифицированном оборудовании.

Одной из причин, препятствующих созданию такого рода оборудования, является отсутствие до настоящего времени соответствующей научно

обоснованной методологии, основанной на математических моделях, объединяющих параметры процессов гигротермической обработки с показателями физико-механических свойств обрабатываемых материалов и оборудования. Такие модели должны позволять устанавливать критерии качества обработки как для известных, так и для новых способов, технологий, назначать режимы обработки, создавать и эксплуатировать на практике высокопроизводительное, энергосберегающее, унифицированное гигротермическое оборудование.

Таким образом, разработка методологии исследования процессов и создания унифицированного оборудования для энергосберегающих технологий интенсифицированной гигротермической обработки натуральных кожевенно-обувных материалов путём воздействия на их микроструктуру является актуальной проблемой на данном этапе развития лёгкой промышленности.

**Объект исследования.** Процессы и унифицированное гигротермическое оборудование для интенсифицированной гигротермической обработки натуральных кож путём воздействия на их микроструктуру в условиях вакуума.

**Предмет исследования.** Совокупность моделей процессов интенсифицированной гигротермической обработки натуральных кож в условиях вакуума, объединяющих показатели их физико-механических свойств с параметрами процессов и унифицированного оборудования.

**Цель и задачи исследования.** Целью исследования является разработка методологии создания процессов и унифицированного оборудования для энергосберегающих технологий интенсифицированной обработки натуральных кожевенно-обувных материалов гигротермическим воздействием на их микроструктуру в условиях вакуума.

Для реализации поставленной цели определены следующие задачи:

– формирование концепции создания унифицированного оборудования для ресурсосберегающих технологий гигротермической обработки на основе анализа современных технологий для интенсифицированной гигротермической обработки натуральных кожевенно-обувных материалов и оборудования, применяемых при изготовлении обуви в условиях индивидуальных и массовых производств;

– формулировка и доказательство гипотезы о существовании в капиллярно-пористых телах в условиях вакуума интенсивной избирательной конденсации пара в системе микрокапилляров, способствующей образованию новых связей в структуре кожи, не разрушаемых при повторных воздействиях тепла и влаги, фиксации и сохранению её формы в новом зафиксированном состоянии при последующих интенсифицированных методах обработки;

– создание унифицированного гигротермического оборудования, реализующего возможность последовательно-параллельного совмещения

технологических операций при интенсифицированной гигротермической обработке натуральных кожевенно-обувных материалов в условиях вакуума;

- разработка аналитических выражений для функции распределения вероятности относительной влажности предварительно вакуумированных натуральных кожевенно-обувных материалов, позволяющих обосновать результаты экспериментальных исследований;

- формирование и апробация обобщённых моделей и критериев стохастического подобия функционирования процессов интенсифицированной гигротермической обработки, объединяющих показатели физико-механических свойств обрабатываемых материалов с параметрами режимов их обработки и соответствующего оборудования;

- разработка методики использования критериев стохастического подобия функционирования процессов ИГО и расчёт показателей физико-механических свойств обрабатываемых материалов и режимов, обеспечивающих требуемые показатели энергоэффективности и производительности оборудования;

- разработка вариативного ряда оборудования для интенсифицированного гигротермического воздействия на кожевенно-обувные материалы в условиях вакуума;

- практическая реализация способов интенсифицированного гигротермического воздействия при обработке натуральных кожевенно-обувных материалов на унифицированном оборудовании с использованием перфорированных колодок, обеспечивающих подачу тепла и влаги с бахтармянной стороны кожи;

- внедрение в производство рекомендаций по унификации оборудования для интенсифицированной гигротермической обработки с применением вакуума.

**Научная новизна** работы состоит в следующем:

- впервые выдвинута и подтверждена гипотеза о существовании при низких парциальном давлении и температуре избирательной конденсации пара в системе микрокапилляров кожи в условиях вакуума, способствующей интенсификации сорбции влаги в микрокапиллярах, образованию новых связей в структуре кожи, не разрушаемых при повторных воздействиях тепла и влаги, фиксации и сохранению её формы в новом зафиксированном состоянии при последующих интенсифицированных методах обработки;

- впервые сформулирована и обоснована концепция исследования и разработки унифицированного оборудования для ресурсосберегающих технологий интенсифицированной гигротермической обработки натуральных кожевенно-обувных материалов в условиях вакуума, основанная на принципах системности теоретических положений гипотезы, а также математических моделей детерминированных и стохастических взаимосвязей параметров технологических процессов, капиллярной структуры кожи и оборудования;

- разработаны математические модели, раскрывающие теоретические положения гипотезы: модель избирательной конденсации пара в системе

микрокапилляров кожи в условиях вакуума; модель распределения микрокапилляров в натуральных кожевенно-обувных материалах; обобщённые модели связей параметров оборудования и технологических режимов с показателями физико-механических свойств обрабатываемых материалов, учитывающие их стохастический характер;

– разработана и реализована методика формирования выражений для критериев эффективности, интенсивности, пригодности оборудования для выполнения конкретной гигротермической операции и получения их численных значений на основе метода подобия функционирования процессов ИГО.

### **Теоретическая значимость работы:**

1. Выдвинута и подтверждена теоретически и экспериментально автором гипотеза о характере конденсации пара в микрокапиллярах кожи в процессе интенсифицированного гигротермического воздействия на неё в условиях вакуума, а также, полученные на её основе математические модели вакуумно-сорбционного увлажнения, являются определённым вкладом в теорию тепло-массопереноса в капиллярно-пористых телах.

2. Впервые разработана концепция создания унифицированного энергосберегающего оборудования для технологий интенсифицированной гигротермической обработки кожевенно-обувных материалов в условиях вакуума, базирующаяся на обобщённых моделях, объединяющих подсистемы ИГО в условиях их стохастического подобия функционирования.

### **Практическая значимость работы:**

– разработаны и запатентованы способы гигротермической обработки обувных материалов на перфорированных (пористых) колодках в условиях вакуума, а также устройства и установки для интенсифицированной гигротермической обработки натуральных кожевенно-обувных материалов на основе разработанных математических моделей;

– разработаны научно-обоснованные исходные требования на проектирование технологического оборудования для интенсифицированного гигротермического воздействия на обувные детали с использованием вакуума.

Практическая значимость диссертационной работы подтверждена эффективностью внедрения её результатов и запросами промышленных предприятий: ЗАО «Прогресс», ООО «Таурис» г. Шахты, фирм «Гарант», «ENRIKO» г. Ростов-на-Дону и др. Способ определения относительной влажности кожевенно-обувных заготовок используется при экспериментальных исследованиях для косвенного контроля влажности в процессе вакуумно-сорбционного увлажнения.

Результаты исследований используются рядом ведущих вузов лёгкой промышленности и сервиса Российской Федерации: МГУДТ, СПбГУСЭ, ИСОиП (филиал) ДГТУ. Они нашли применение в лекционных курсах по дисциплинам «Оборудование производств изделий из кожи и основы проектирования оборудования», «Технические средства предприятий

сервиса», «Технология изделий из кожи», в курсовом и дипломном проектировании по соответствующим специальностям; включены во внутривузовские методические пособия (ЮРГУЭС, г. Шахты, 1991–2012 гг.), в учебное пособие для вузов России «Технические средства предприятий сервиса» (М.: Издательский центр «Академия», 2003 г.), нашли отражение в учебнике «Технология изделий из кожи» (авторы В.А. Фукин, А.Н. Калита. – М.: Легпромбытиздат, 1988 г.), использовались при подготовке кандидатской диссертации соискателем В.В. Смирновым, выполненной под руководством автора.

Документы, подтверждающие внедрение и практическое использование теоретических положений, выводов и рекомендаций, представлены в приложении к диссертации.

**Методология и методы исследования.** Для решения поставленных задач использовались: базовые основы теории тепломассопереноса, анализа и параметрического синтеза систем, основы математического моделирования, численные методы математической статистики, научного планирования эксперимента, программирования и логической алгоритмизации, метода подобия функционирования технических систем (ПФТС), комплексы программ, позволяющих получить результаты, адекватные исследуемым реальным процессам.

#### **Положения, выносимые на защиту:**

– положения и результаты, подтверждающие гипотезу о существовании избирательной конденсации пара в системе микрокапилляров кожи в условиях вакуума, способствующей интенсификации сорбции влаги в них, образованию новых связей в структуре кожи, не разрушаемых при повторных воздействиях тепла и влаги, фиксации и сохранению её формы в новом зафиксированном состоянии при последующих интенсифицированных методах обработки;

– принципы и результаты реализации концепции создания унифицированного энергосберегающего оборудования на основе разработанных математических моделей для технологий гигротермической обработки с воздействием на микроструктуру натуральных кожевенно-обувных материалов в условиях вакуума;

– математические модели: об избирательной конденсации пара в системе микрокапилляров кожи в условиях вакуума; о функции распределения вероятности относительной влажности предварительно вакуумированных натуральных кожевенно-обувных материалах, о системном характере связи показателей физико-механических свойств обрабатываемых материалов с параметрами технологических режимов и оборудования, установленном посредством частных и обобщённых зависимостей и критериев подобия стохастического функционирования подсистем ИГО;

– методики формирования и расчёта критериев эффективности, интенсивности обработки и пригодности оборудования для выполнения

конкретной гигротермической операции, полученные на основе метода подобия функционирования процессов ИГО.

**Степень достоверности** результатов исследования обеспечивается использованием автором в качестве теоретической и методологической базы диссертационного исследования фундаментальных трудов в области тепломассопереноса, теории подобия, размерностей и моделирования; использованием современных теоретических и экспериментальных методов исследований, удовлетворительной сходимостью теоретических и экспериментальных результатов.

**Апробация результатов.** Основные положения и результаты работы были представлены и получили положительную оценку на областной научно-практической конференции «Повышение эффективности связи науки с производством» (г. Ростов-на-Дону, 1984 г.), на научно-практических конференциях Всесоюзного заочного института текстильной и лёгкой промышленности (1988–1990 гг.), на Всесоюзной научно-технической конференции молодых исследователей «Прогрессивная техника и технология, системы управления и автоматизированного проектирования в текстильной и лёгкой промышленности» (г. Москва, МТИ им. Косыгина, 1989 г.), на Всероссийской научно-технической конференции «Современные инновационные технологии и оборудование» (г. Тула – 2006 г.), на межвузовских и Всероссийских научно-технических конференциях Южно-Российского государственного университета экономики и сервиса (г. Шахты – 2007, 2008, 2009, 2010 гг.), на Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы инновационного развития хлопкоочистительной, текстильной, лёгкой, полиграфической промышленности и подготовки кадров» (г. Ташкент – 2009 г.), на Международной научно-технической конференции молодых специалистов, аспирантов и студентов «Математическое и компьютерное моделирование естественнонаучных и социальных проблем» (г. Пенза – 2009 г.), на Международной научно-практической конференции Восточно-Украинского национального университета им. В. Даля (г. Луганск – 2010 г.), на Международной научно-технической конференции «Современные наукоёмкие технологии и перспективные материалы текстильной и лёгкой промышленности» (Прогресс-2012) (г. Иваново – 2012 г.).

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 54 работы, в том числе 16 - в рекомендованных ВАК реферируемых журналах центральной печати, 2 монографии, получено 12 авторских свидетельств СССР и патентов Российской Федерации на изобретения. Работа выполнялась по государственному заданию Министерства образования и науки РФ по теме «Разработка систем эффективной виброзащиты и обеспечения технического состояния машин для гигротермической обработки текстильных и кожевенных изделий в процессе их жизненного цикла» (2012-2013г.).



**Объём и структура работы.** Диссертация содержит 315 страниц, включая 37 рисунков и 31 таблицу, состоит из введения, шести глав, заключения, списка литературы из 185 наименований, 12 приложений.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность работы, дана её общая характеристика, определены цель и задачи исследования, показана научная новизна и практическая значимость исследований, приведены сведения об апробации работы и основные положения, выносимые автором на защиту.

**В первой главе** проведён анализ состояния вопроса в области гигротермической обработки натуральных кожевенно-обувных материалов (операций увлажнения, сушки, влажно-тепловой обработки) на основе работ М.А. Файбишенко, Ю.Л. Кавказова – о взаимодействии кожи с влагой, П.А. Ребиндера – о связях влаги с материалом, А.В. Лыкова, Ю.А. Михайлова – о перемещении влаги в капиллярно-пористых телах и высокоинтенсивном тепломассопереносе, Т.Е. Акуловой, Т.Ф. Таганцевой – о применении вакуума при увлажнении, М.К. Куприянова, Н.И. Шаповала, В.В. Щербакова, А.Н. Калиты, А.С. Ратаутаса – о влиянии уровня влажности кож на их деформационные свойства и формоустойчивость, К.М. Зурабяна, Л.И. Адигезалова, В.М. Чесунова – об интенсификации гигротермической обработки, Р.В. Луцыка – о взаимосвязи тепломассообменных и деформационно-релаксационных процессов при сушке, и др. Анализ показал, что качество гигротермической обработки зависит не только от конечной относительной влажности заготовок обуви после проведения каждой из операций, но и от скорости и способов её достижения и степени влияния на микрокапиллярную структуру кожи, что определяет область использования существующего специализированного оборудования и требования по созданию нового, в частности, унифицированного.

Проведённый анализ позволил выдвинуть гипотезу о существовании при низких парциальном давлении и температуре избирательной конденсации пара в системе микрокапилляров кожи в условиях вакуума, способствующей интенсификации сорбции влаги в микрокапиллярах, образованию новых связей в структуре кожи, не разрушаемых при повторных воздействиях тепла и влаги, фиксации и сохранению её формы в новом зафиксированном состоянии при последующих интенсифицированных методах обработки, что позволит совместить ряд технологических операций на соответствующем новом унифицированном оборудовании.

Методология создания такого оборудования должна базироваться на соответствующих математических моделях, объединяющих параметры интенсифицированных гигротермических процессов и оборудования с показателями физико-механических свойств обрабатываемых материалов.

Показано, что методология создания моделей может основываться на работах Д. Худсона, М. Фреше, Е. Гумбеля в области математической статистики; В.Л. Веникова – о критериях подобия, методах их формирования

и возможности использования для групп подобных явлений; Н.А. Северцева, Г.А. Ярыгина – об использовании критериев стохастического подобия для обеспечения надёжности систем при их проектировании и испытаниях; В.А. Першина – о стохастическом подобии функционирования технических систем; Ю.С. Шустова – по применению теории подобия для прогнозирования строения и свойств текстильных материалов.

**Во второй главе** приведены результаты решения задачи теоретического обоснования одного из положений научной гипотезы, выдвинутой в первой главе: о существовании при низких парциальном давлении и температуре избирательной конденсации пара в системе микрокапилляров кожи в условия вакуума, способствующей интенсификации процесса сорбции влаги в микрокапиллярах.

Теоретический анализ механизма влагопереноса с использованием положений молекулярно-кинетической теории газов позволил установить решающее значение переноса влаги в газообразном состоянии при низких парциальном давлении и температуре и его влияние на скорость увлажнения в условиях вакуума.

Установлено, что процесс проникновения пара в единичный капилляр кожи может быть описан уравнением диффузии:

$$\frac{du}{d\tau} = D \frac{d^2u}{dx^2}, \quad (1)$$

где  $u(x, \tau)$  – концентрация паров воды, зависящая от расположения оси координат  $x$  и времени  $\tau$ ;  $D$  – коэффициент диффузии пара.

С учётом этого уравнения рассмотрен характер изменения концентрации пара от времени по длине капилляра с учётом его геометрических свойств. Показано, что если длина капилляра намного больше его диаметра, задачу можно считать одномерной и при принятых краевых условиях (о равенстве концентрации паров на входе в капилляр и резервуаре с водой в начальный момент времени и условия непроницаемости на другом конце капилляра) решение уравнения диффузии принимает вид:

$$u(x, \tau) = u_0 - \frac{4u_0}{\pi} \cdot \sum_{k=0}^{\infty} \frac{1}{2k+1} \cdot e^{-\frac{(2k+1)^2 \pi^2 D \tau}{4L^2}} \cdot \sin \frac{(2k+1)\pi x}{2L}, \quad (2)$$

где  $u_0$  – начальная концентрация пара;  $L$  – длина капилляра.

При  $\tau < \tau_0 = \frac{0,2L^2}{D}$  решение уравнения (2) имеет вид:

$$u(x, \tau) = 2u_0 \left[ 1 - \Phi \left( \frac{x}{\sqrt{2D\tau}} \right) + \Phi \left( \frac{x-2L}{\sqrt{2D\tau}} \right) \right], \quad (3)$$

где  $\Phi(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^z e^{-\frac{\alpha^2}{2}} d\alpha$  – интеграл вероятности;  $\alpha$  – уровень значимости.

Найденное из уравнения (3) время заполнения паром капилляра до его 95% содержания в нём составляет доли секунд, что подтверждает положение

гипотезы о быстром насыщении влагой предварительно-вакуумированного микрокапилляра.

Для подтверждения гипотезы об избирательной конденсации пара в микрокапиллярах кожи в условиях вакуума были рассмотрены два процесса, обеспечивающие их заполнение влагой: капиллярную конденсацию в результате сорбционных явлений и конденсацию, обусловленную теплообменом между паром и поверхностью капилляра.

В работах Ю.Л. Кавказова о взаимодействии кожи с влагой установлено, что конденсация водяного пара за счёт сорбционных явлений происходит только в капиллярах с эффективным радиусом  $r < 10^{-7}$  м и даже в тех случаях, когда стенки капилляров гидрофобны.

На основе первого закона Фика получена формула для определения массы влаги  $m_c$ , сконденсированной в единичном микрокапилляре в зависимости от времени и условий протекания процесса сорбции пара в вакууме (длина свободного пробега молекул пара соизмерима с диаметром капилляра):

$$m_c = \pi \cdot r_0^2 L \cdot \rho_g \cdot \left( 1 - e^{-\frac{2D\rho_n \cdot \tau}{L^2 \cdot \rho_g}} \right), \quad (4)$$

где  $r_0$  – радиус микрокапилляра в начальный момент времени;  $\rho_n$  – плотность пара, соответствующая условиям проведения процесса (давлению и температуре);  $\rho_g$  – плотность воды.

Получено выражение для определения массы влаги, сконденсированной в начальный момент времени в результате теплообмена между паром и кожей в условиях вакуума, без учёта сорбционных явлений:

$$m = M_e \cdot \frac{C_k}{4,19} \cdot [e^{0,00176(T-T_n)} - 1] \cdot 100\%, \quad (5)$$

где  $m$ ,  $M_k$  – массы, соответственно, влаги в заготовке и самой заготовки;  $T > T_H$ ,  $T$ ,  $T_H$  – конечная и начальная температуры рассматриваемого процесса;  $C_k$  – удельная теплоемкость кожи.

Формулы (4),(5) позволяют определять теоретический привес влаги в коже при вакуумно-сорбционном увлажнении как сумму привесов влаги, полученных в результате капиллярно-сорбционных явлений и теплообмена, и теоретически подтверждают положение гипотезы о том, что максимальное заполнение влагой микрокапилляра наблюдается в первый момент за счёт сорбции и разности температур между паром и стенками микрокапилляра. С увеличением времени интенсивность увлажнения падает, что необходимо учесть при создании соответствующего оборудования.

**В третьей главе** приведены теоретические исследования влияния структуры кожи на показатели её относительной влажности, обусловленной избирательной конденсацией влаги в системе микрокапилляров в условиях вакуума при интенсифицированной гигротермической обработке.

На основе разработанной физической модели при условии равномерного распределения микрокапилляров в структуре кожи с помощью статистических методов получена формула для функции распределения вероятностей относительной влажности кож, обусловленной влагой микрокапилляров.

Окончательный вид формулы плотности вероятностей  $P_F(V)$  увлажнения (сушки) в условиях вакуума образца определённого объёма  $V$  при равномерном распределении в нём микрокапилляров имеет вид:

$$P_F(V) = 1 - [\Gamma(n+1) - \Gamma(cV, n+1)] / \Gamma(n+1) = I(cV, n), \quad (6)$$

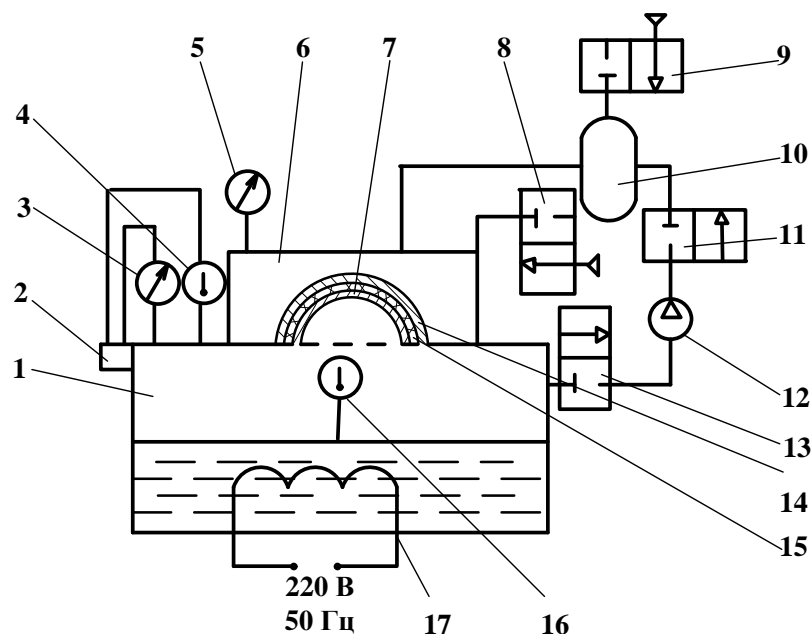
где величина  $c = \bar{V}^{-1}$ , имеющая размерность  $(V)^{-1}$ , означает среднюю концентрацию микрокапилляров в некотором объёме тела  $V$ , а отношение, выражающееся через неполную гамма-функцию  $I(V/\bar{V}, n)$ , протабулировано.

Таким образом, в случае дальнейшего экспериментального подтверждения положения гипотезы об избирательной микрокапиллярной конденсации влаги при новых способах обработки (патенты РФ № 2203600, № 2349238) на новом оборудовании (патенты РФ № 2312573, № 2312574), для прогноза результатов и наиболее надёжной основы для экстраполяции полученных значений относительной влажности, необходимо использовать закон гамма-распределения, связанный с моделью равномерного распределения микрокапилляров в структуре материалов.

**В четвёртой главе** диссертации представлены результаты проведённых экспериментальных исследований взаимосвязи параметров режимов интенсифицированной гигротермической обработки с показателями относительной влажности и физико-механических свойств кож хромового дубления различных толщин и методов выработки, апробации теоретических предположений о решающем влиянии микрокапиллярной влаги на изменение физико-механических свойств натуральных кожевенно-обувных материалов.

Исследования проводились на экспериментальной установке (рисунок 1), созданной на основе полученных патентов РФ № 2312573, № 2312574, № 234923.

Установка состоит из двух вакуумных камер, между которыми находятся перфорированные перегородка и пуансон с установленным на него образцом кожи и воздухонепроницаемой плёнкой.



- 1 – нижняя вакуумная камера с водой; 2 – аппаратная часть экспериментальной установки;  
 3, 5 – датчики давления; 4, 16 – датчики температуры; 6 – верхняя камера;  
 7 – перфорированная перегородка и пуансон; 8, 9 – клапаны подачи воздуха;  
 10 – аккумулятор воздуха; 11 – клапаны отсечки воздуха; 12 – вакуумный насос;  
 13 – соединительный клапан; 14 – воздухонепроницаемая плёнка;  
 15 – образец кожи; 17 – ТЭН

Рисунок 1 – Принципиальная схема установки для гигротермического воздействия на заготовки верха обуви

Подача пара к образцам при исследовании процессов гигротермического воздействия осуществлялась испарением нагретой воды, находящейся в нижней части камеры, после предварительного её вакуумирования до давления 0,02 МПа.

Для измерения давления внутри рабочей камеры использовался электронный датчик давления с аналоговым выходом типа 26PCAFA6D фирмы «Honeywell» (USA), а температура рабочей среды в нижней камере измерялась температурным датчиком DS1820 фирмы «DALLAS» (USA).

В качестве регистрирующей аппаратуры применялся персональный компьютер.

Для управления параметрами процессов ИГО использовалась программа «Информационно-управляющая оболочка опытной установки для гигротермической обработки кож», на которую получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ (№ 2010617180).

Данная программа позволяет проводить исследования в двух режимах: автоматическом и полуавтоматическом с целью обеспечения соотношения между температурой ( $T$ ) водяного пара и его давлением ( $P$ ) в течение заданного времени для каждой операции при соответствующих начальных и конечных значениях температуры и давления, приведённых далее в таблице 2. При увлажнении поддерживалось соотношение  $T = 202,8 \cdot P^{0,3}$  между температурой ( $T$ ) водяного пара в состоянии насыщения и его давлением ( $P$ ). Так, при сушке взаимосвязь между температурой ( $T$ ) и давлением ( $P$ )

подчинялась неравенству  $T > 202,8 \cdot P^{0,3}$ , а при влажно-тепловой обработке – неравенству  $T < 202,8 \cdot P^{0,3}$ , что достигалось регулированием температуры нагрева воды.

Блок-схема аппаратной части экспериментальной установки для интенсифицированного гигротермического воздействия на заготовки верха обуви в вакууме с использованием рассматриваемых датчиков приведена на рисунке 2.

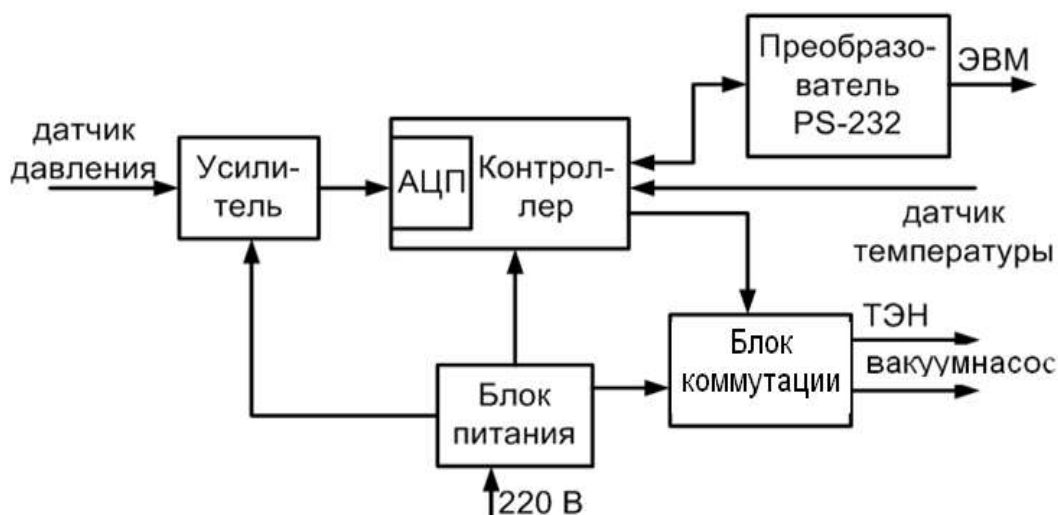


Рисунок 2 – Блок-схема системы управления экспериментальной установкой

С использованием разработанных технических и программных средств проведены следующие экспериментальные исследования:

1) влияния режимов увлажнения в вакууме образцов кож при их подвешивании в камере и установке на перфорированном пуансоне на их относительную влажность;

2) влияния режимов влажно-тепловой фиксации предварительно увлажнённых в вакууме образцов на величину их полной деформации:

– на неперфорированном пуансоне с приложением давления с лицевой стороны образцов;

– на перфорированном пуансоне с одновременным вакуумированием с бахтармянной стороны и приложением давления с лицевой стороны;

3) влияния режимов влажно-тепловой обработки образцов кож на величину остаточных деформаций после испытаний по п. 2:

– на неперфорированном пуансоне, с предварительным вакуумированием и подачей пара с лицевой стороны;

– на перфорированном пуансоне без выемки из камеры, с предварительным вакуумированием и подачей пара с бахтармянной стороны.

Исследования кинетики вакуумно-сорбционного увлажнения проводились при расположении заготовок в верхней камере 6 (рисунок 1) над ёмкостью с водой, находящейся в нижней вакуумной камере 1 объёмом 0,09 м<sup>3</sup>, соединённой через золотник управления 13 с вакуумным насосом 12 (тип 2НВР-5ДМ, производительность 5 л/с, диапазон давления на входе от

атмосферного до 0,02 МПа, мощность электродвигателя 0,55 кВт). Для выравнивания давления в камерах с атмосферным, они снабжены клапаном напуска воздуха 9. Для нагрева воды использовался трубчатый электронагреватель (ТЭН) 17 мощностью 1 кВт с регулируемым напряжением.

В результате проведённых экспериментальных исследований (п. 1) подтверждено положение гипотезы об избирательной микрокапиллярной конденсации влаги при их равномерном распределении в структуре кожи. Правомерность разработанной модели распределения микрокапилляров подтверждена  $\chi^2$ -критерием ( $\chi^2_{расч.} < \chi^2_{табл.} = 4,09 < 5,99$ ).

Графические зависимости относительной влажности  $W_{отн.}$ , % от времени  $\tau$ , характеризующие кинетику вакуумно-сорбционного увлажнения, приведены на рисунке 3.

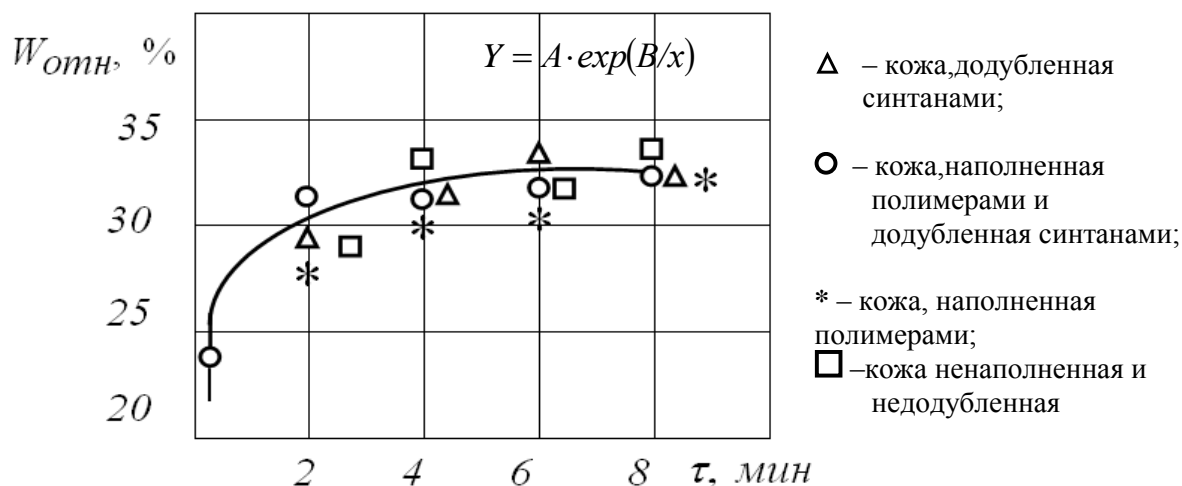


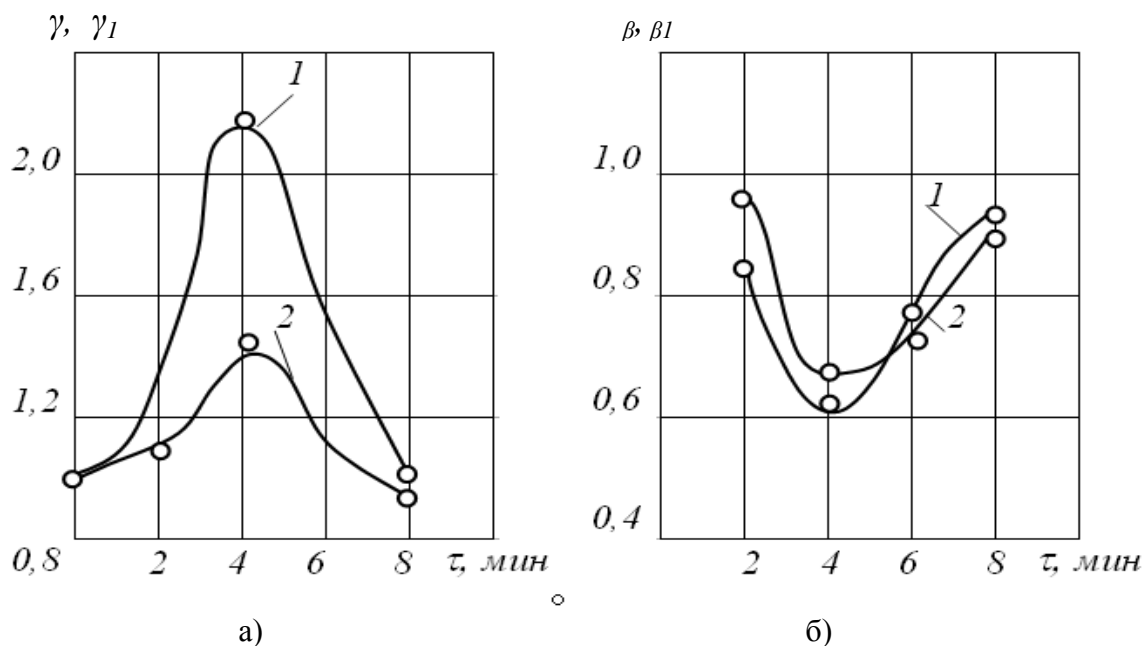
Рисунок 3 – Кинетика вакуумно-сорбционного увлажнения кож хромового дубления различного характера выработки

Совпадение кривых увлажнения исследуемых кож различных вариантов выработки при вакуумно-сорбционном способе увлажнения объясняется исключением влияния степени гидрофильности поверхности капилляров кожи на перемещение пара.

Таким образом, вакуумно-сорбционный способ увлажнения обеспечивает равномерный привес влаги в кожах различного характера выработки и не имеющих специальных маркировок об особенностях их обработки на кожевенных заводах.

При сопоставлении основных показателей, определяющих формуемость (остаточных удлинений  $\varepsilon_{ост}$  и условного модуля упругости  $E_y$ ) при испытаниях на одноосное растяжение, установлено (рисунок 4), что при всех режимах вакуумно-сорбционного увлажнения эти показатели превосходят

соответствующие показатели кож хромового дубления в воздушно-сухом ( $\gamma = \frac{\varepsilon_{ост}^B}{\varepsilon_{ост}^{сух}}$ ,  $\beta_1 = \frac{E_Y^e}{E_Y^{сух}}$ ) состоянии и увлажненных традиционным способом ( $\gamma_1 = \frac{\varepsilon_{ост}^B}{\varepsilon_{ост}^{ам}}$ ,  $\beta = \frac{E_Y^e}{E_Y^{ам}}$ ) (рисунок 4), что подтверждает решающее влияние микрокапиллярной влаги на изменение физико-механических свойств кожевенно-обувных материалов.



а) 1 – воздушно-сухие образцы;  
2 – образцы, увлажнённые традиционным способом

Рисунок 4 – Относительные изменения остаточных удлинений  $\varepsilon$  (а) и условного модуля упругости  $E_Y$  (б) при одноосном растяжении

Для подтверждения положения гипотезы о возможности совмещения ряда операций и создании унифицированного оборудования при подводе тепла и влаги с бахтармянной стороны заготовок проводились экспериментальные исследования процессов ИГВ при увлажнении, сушке, влажно-тепловой обработке кож хромового дубления, как на типовом оборудовании, так и на разработанной установке (рисунок 1) с применением стандартных методов исследования.

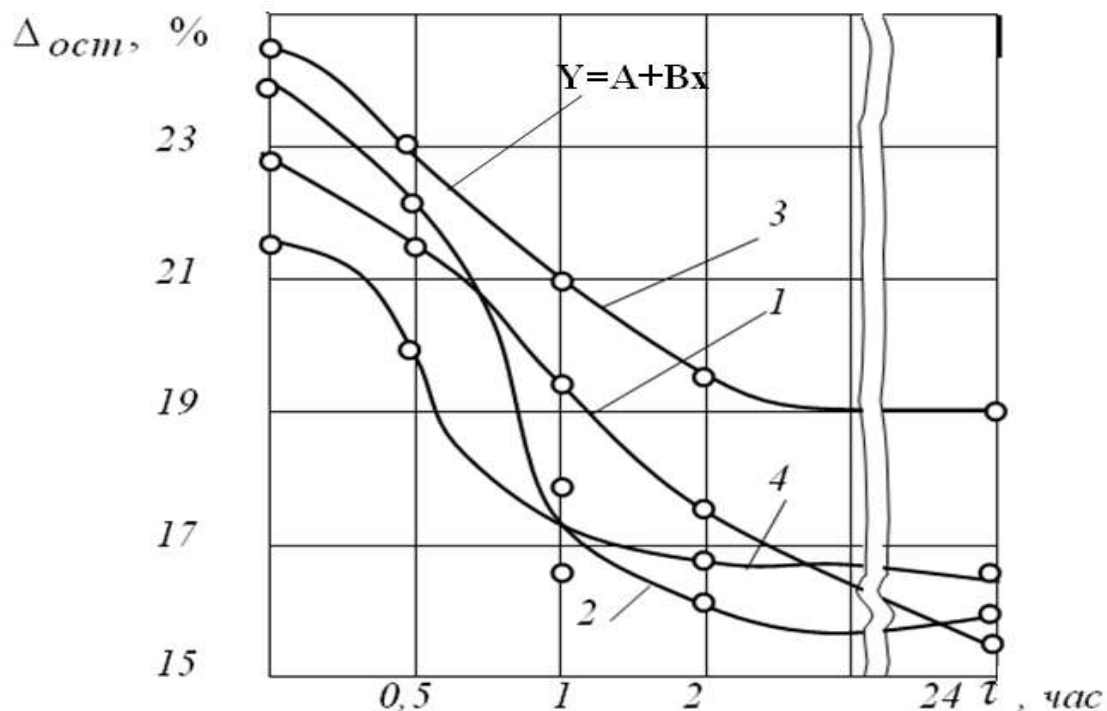
При проведении экспериментальных исследований эффективность процессов увлажнения, проводимых с использованием неперфорированного и перфорированного пуансонов, оценивалась интенсивностью за время достижения требуемого технологией производства обуви привеса влаги, эффективность процесса влажно-тепловой фиксации оценивалась величиной полной деформации, а влажно-тепловой обработки – величиной остаточной деформации.

Экспериментальные данные обрабатывались с помощью программы Microsoft Excel, ошибка выборочной средней оценивалась критерием Стьюдента.



Сопоставление результатов теоретических и экспериментальных исследований (рисунок 3) относительной влажности с использованием критерия Фишера (значение которого для всех серий опытов не превышало его табличного значения), показало их достаточно хорошее совпадение, не превышающее 9%, что подтверждает адекватность разработанных во второй главе моделей и реального процесса.

Кинетика изменения остаточных деформаций кожи от времени релаксации («отдыха») образцов после снятия нагрузки в течение суток представлена на рисунке 5.



1 – увлажнение в течение 2-х минут; 2 – увлажнение в течение 4-х минут;  
3 – увлажнение в течение 6-ти минут; 4 – увлажнение в течение 8-ми минут

Рисунок 5 – Зависимости остаточных деформаций ( $\Delta_{ост}$ ) кожи хромового дубления при двухосном растяжении от времени «отдыха» ( $\tau$ ) при вакуумно-сорбционном способе увлажнения

Характер изменения остаточных деформаций  $\Delta_{ост}$  от времени «отдыха»  $\tau$  после двухосного растяжения образцов кож хромового дубления (рисунок 5) свидетельствует о наличии определённого момента времени вакуумно-сорбционного увлажнения (6 минут), при котором остаточные деформации максимальны, а дальнейшее увеличение времени увлажнения приводит к резкому спаду остаточных деформаций, что связано с повышением температуры в герметичной камере и начавшимся процессом сушки.

Образцы на перфорированном пуансоне увлажнялись в течение этого же времени и подвергались дальнейшему формованию при различных перепадах давления паровоздушной среды (таблица 1).

Таблица 1 – Значения полных и остаточных деформаций кож хромового дубления в зависимости от условий формования в вакууме на перфорированном пуансоне

Давление прижатия образцов $P_{II}$ , МПа	Расчётный перепад давлений $\Delta P$ , МПа	Расчётное усилие приформовывания $P_{II}$ , Н	Полная деформация $\Delta_{полн.}$ %	Остаточная деформация через 24 часа $\Delta_{ост.}$ %
0,20	0,1575	551,0	56,8±1,3	45±1,1
0,15	0,1075	376,0	41,7±0,9	33,3±1,2
0,10	0,0575	201,0	28,4±1,1	23,6±0,9

Как видно из таблицы 1, значения полных деформаций образцов, отформованных на перфорированном пуансоне стандартным усилием 200 Н, превышают на 6% соответствующие значения, полученные при формовании образцов на неперфорированном пуансоне.

Таким образом, экспериментально подтверждены следующие положения гипотезы:

1) о возможности применения вакуума при выполнении всего цикла ИГО, включающего операции «увлажнение», «влажно-тепловая фиксация», «сушка», «влажно-тепловая обработка» при использовании перфорированного пуансона и подаче тепла на бахтармяную сторону заготовок;

2) о последовательно-параллельном совмещении всех операций ИГО при обработке заготовок, установленных на перфорированном пуансоне и возможном исключении операции «основная сушка» после выемки из камеры, что подтверждает гипотезу о влиянии влаги, сконденсированной в микрокапиллярах в условиях вакуума и способствующей образованию новых связей между цепями в структуре коллагена с более высоким потенциальным барьером, приводящим к фиксации структуры кожи в новом зафиксированном состоянии;

3) о влиянии микрокапиллярной влаги на изменение физико-механических показателей кож хромового дубления для подкладочной и бесподкладочной обуви, систем материалов «кожа + тик-саржа», полученных при одно- и двухосном растяжении, предопределяющих формуемость, которые повышаются в 1,5–2 раза при использовании вакуумно-сорбционного способа увлажнения при практически неизменных значениях предела прочности при растяжении, исключая возможность разрыва заготовки верха обуви при проведении обтяжно-затяжных операций. При этом время увлажнения с применением вакуума уменьшается более чем в 5 раз, по сравнению с традиционным способом.

Новизна выводов подтверждается разработанными и запатентованными способами обработки (патенты № 1521446, № 2203600, № 2349258, № 2445907).

**В пятой главе**, на основе теоретически и экспериментально подтверждённой гипотезы, разработана концепция (система теоретических принципов) создания унифицированного энергосберегающего оборудования

для технологий интенсифицированной гигротермической обработки натуральных кожевенно-обувных материалов.

Основными принципами концепции являются следующие:

1) создание оборудования должно базироваться на математических моделях связей между параметрами оборудования, технологии обработки и показателями физико-механических свойств обрабатываемых материалов;

2) при создании оборудования необходим учёт характера взаимодействий параметров подсистем системы интенсифицированной гигротермической обработки, как в детерминированных условиях функционирования, так и в стохастических условиях;

3) необходимость определения и учёта граничных условий, относительных допусков на изменение параметров обработки для выбранных характеристик функционирования подсистем интенсифицированной гигротермической обработки;

4) необходимость использования частных и объединённых критериев подобия функционирования процессов ИГО для создания нового унифицированного и специализированного оборудования;

5) методики по практическому применению унифицированного оборудования должны раскрывать сущность разработанных принципов и полученных моделей.

За основу разработки и исследования принципов концепции принят метод подобия функционирования технических систем, позволяющий системно исследовать процессы интенсифицированного гигротермического воздействия на кожевенно-обувные материалы как в детерминированных, так и в стохастических условиях функционирования.

На первом этапе создания оборудования интенсифицированная гигротермическая обработка представляется как система, характеризующаяся совокупностью подсистем (рисунок 6).

Подсистемы представляют собой:

- «средства технологии» (камера, вакуумный насос и парогенератор);
- «технологию» (последовательность выполнения операций гигротермического воздействия: увлажнения, влажно-тепловой фиксации, сушки и влажно-тепловой обработки);

- «объект технологии» (заготовки кожи, помещаемые в вакуумную камеру);

- «продукцию» (обработанные заготовки верха обуви после соответствующей гигротермической обработки).

Для исследования функционирования системы ИГО в детерминированных условиях формируются критерии подобия по методике указанного метода с использованием программного продукта.

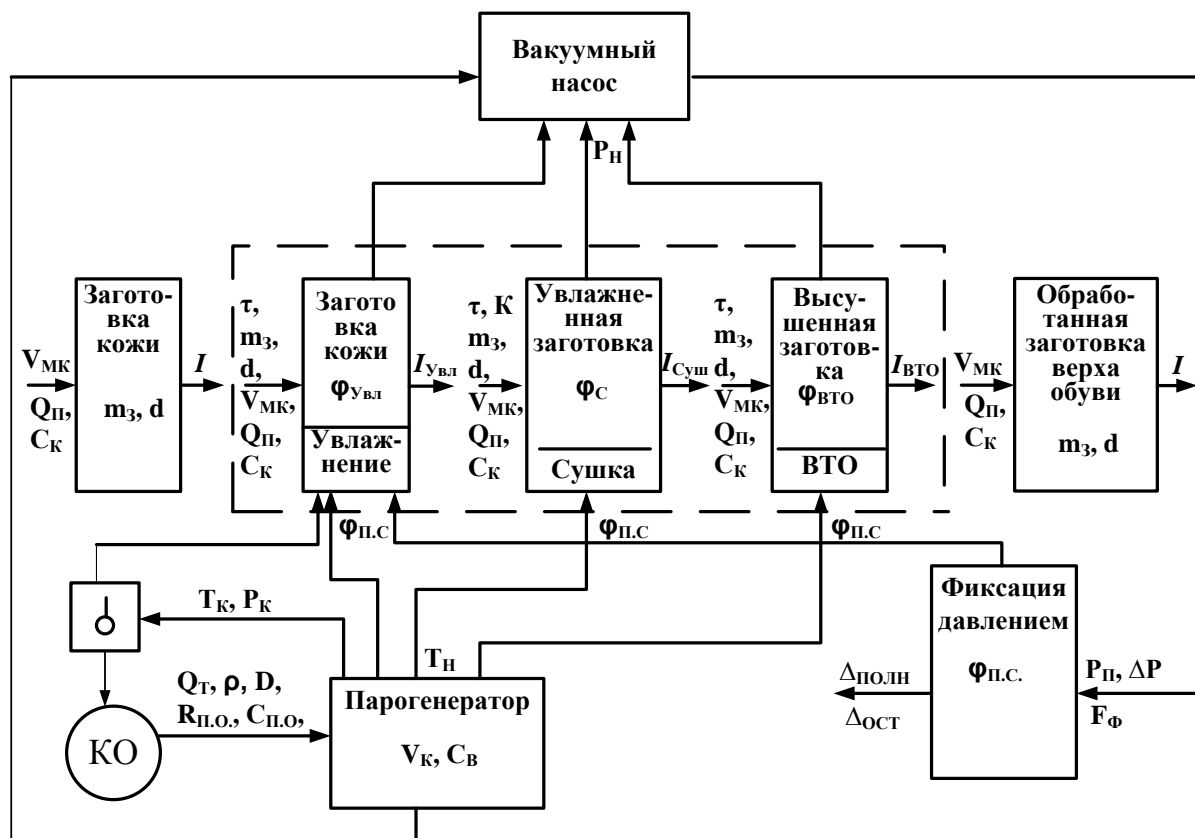


Рисунок 6 – Структурная модель функционирования системы ИГО

Для реальной подсистемы одного функционального назначения и идентичных физических процессов с её функциональным аналогом детерминированное подобие устанавливается равенством их соответственных критериев и равенством единице комплексов независимых параметров, входящих в эти критерии, что является достаточным условием детерминированного подобия её функционирования.

Подсистемы характеризуются множеством параметров: выходных ( $I_{Увл}$ ,  $I_{Суш}$ ,  $I_{ВТО}$ ,  $\Delta_{полн}$ ,  $\Delta_{ост}$ ); входных ( $\phi_{П.С}$ ,  $\rho$ ,  $D$ ,  $R_{П.О.}$ ,  $C_{П.О.}$ ,  $Q_T$ ,  $\tau$ ,  $K$ ,  $m_3$ ,  $d$ ,  $V_{МК}$ ,  $Q_{П}$ ,  $C_K$ ); возмущающих ( $T_H$ ,  $T_K$ ,  $P_H$ ,  $P_K$ ,  $P_{П}$ ,  $\Delta P$ ,  $F_{\Phi}$ ) (таблица 2); внутренних структурных ( $V_K$ ,  $C_B$ ) (рисунок 6).

Таблица 2 – Наименование и размерность параметров для определения выходных характеристик процессов гигротермического воздействия на кожи хромового дубления

№	Параметры	Обозначение	Размерность	Рекомендуемые условия однозначности*			
				Увлажнение	Фиксация	Сушка	ВТО
1	2	3	4	5	6	7	8
<i>Средства технологии</i>							
1	Объем камеры	$V_K$	$m^3$	$9 \cdot 10^{-2}$			
2	Коэффициент диффузии пара	$D$	$m^2/c$	$0,58 \cdot 10^{-4}$	-	$-0,51 \cdot 10^{-4}$	$0,78 \cdot 10^{-4}$
3	Плотность пара в условиях вакуума	$\rho$	$кг/м^3$	$26 \cdot 10^{-2}$	-	$24 \cdot 10^{-2}$	$25 \cdot 10^{-2}$

1	2	3	4	5	6	7	8
4	Удельная теплоёмкость воды	$C_B$	Дж/(кг·К)	$1,915 \cdot 10^3$	-	$1,925 \cdot 10^3$	$1,915 \cdot 10^3$
5	Удельная теплоёмкость пара	$C_{ПО}$	Дж/(кг·К)	$2,018 \cdot 10^3$	-	$2,018 \cdot 10^3$	$2,018 \cdot 10^3$
6	Удельная теплота парообразования	$R_{ПО}$	Дж/(кг)	$480 \cdot 10^3$	-	$480 \cdot 10^3$	$480 \cdot 10^3$
7	Влажность паровоздушной среды	$\varphi_{п.с.}$	%	97	97	55	97
8	Количество теплоты	$Q_T$	Дж	2050	-	2050	2050
<i>Технология</i>							
9	Время	$\tau$	с	360	360	360	120
10	Температура начальная	$T_H$	К	328	323	338	330
11	Температура конечная	$T_K$	К	332	331	348	340
12	Начальное давление в камере	$P_H$	Па	$20 \cdot 10^3$	$20 \cdot 10^3$	$20 \cdot 10^3$	$24 \cdot 10^3$
13	Конечное давление в камере	$P_K$	Па	$50 \cdot 10^3$	-	$50 \cdot 10^3$	$40 \cdot 10^3$
14	Коэффициент цикличности	$K$		-	-	3	-
15	Интенсивность	$I$	кз/(с·м <sup>3</sup> )	$3 \cdot 10^{-24}$	$3,2 \cdot 10^{-20}$		$2 \cdot 10^{-23}$
16	Перепад давлений	$\Delta P$	Па	-	$16,5 \cdot 10^3$	-	-
17	Усилие формования	$F_\Phi$	Н	-	577,5	-	-
18	Приформовочное давление	$P_\Pi$	Па	-	$0,2 \cdot 10^6$	-	-
<i>Объект, Продукция</i>							
19	Масса заготовок	$m_3$	кг	$2,0 \cdot 10^{-3}$			
20	Толщина кожи хромового дубления	$d$	м	$1,6 \cdot 10^{-3}$			
21	Объём микрокапилляров	$V_{М.К.}$	м <sup>3</sup>	$0,257 \cdot 10^{-3}$			
22	Паропроницаемость	$Q_\Pi$	кг/(м <sup>2</sup> ·с)	$107,73 \cdot 10^3$			
23	Удельная теплоёмкость кожи	$C_K$	Дж/(кг·К)	$1,61 \cdot 10^3$			
24	Коэффициент диффузионного сопротивления: – с бахтармянной стороны; – с лицевой стороны	$\mu$		3,2			
				5,35			
* рекомендуемые режимы приняты на основе апробированных экспериментальных и теоретических исследований процессов при обработке в специализированном оборудовании с использованием вакуума							

В соответствии с методом ПФТС получены функциональные зависимости выходного параметра  $I$  – интенсивности соответствующего

гигротермического процесса (увлажнения, сушки, влажно-тепловой обработки) и интенсивности процесса влажно-тепловой фиксации, оцениваемой величиной достигаемой полной деформации  $\Delta_{полн}$  от ряда определяющих её состояние параметров, представленных выше (таблица 2), имеющие вид:

$$I = f(d, m_3, V_{МК}, Q_{П}, C_K, \mu, \varphi_{П.С}, T_H, T_K, P_H, P_K, \tau, Q_T, K, V_K, D, \rho, C_B, C_{ПО}, R_{ПО}) \quad (7)$$

$$\Delta_{полн} = f(d, K, P_H, P_K, P_{П}, Q_{П}, C_K, \mu, \varphi_{П.С}, T_H, T_K, \Delta P, F_{\Phi}, \tau, V_K). \quad (8)$$

Для получения обобщённых критериальных зависимостей подобия функционирования подсистем ИГО определены выражения и численные значения частных критериев подобия  $-\pi_i$ .

Из них сформированы для рассматриваемых процессов ИГО обобщённые критерии подобия, определены их численные значения и получены обобщённые критериальные зависимости интенсивности увлажнения, сушки, влажно-тепловой обработки и полной деформации при влажно-тепловой фиксации от параметров обработки (9-16), на основе которых построены теоретические графики (рисунок 7).

Для увлажнения:

$$\prod_{i=1}^k \pi_{i_{увл.}} = \frac{\pi_{I_{увл.}} \cdot \pi_d \cdot \pi_{m_3} \cdot \pi_{V_{МК}} \cdot \pi_{Q_{П}} \cdot \pi_{\rho} \cdot \pi_{C_{ПО}} \cdot \pi_{Q_T} \cdot \pi_D \cdot \pi_{\varphi_{П.С}} \cdot \pi_{T_K}}{\pi_{P_K} \cdot \pi_{C_B} \cdot \pi_{R_{ПО}} \cdot \pi_{\mu} \cdot \pi_{\tau}} = 0,69, i = \overline{1, k}, k = 16 \quad (9)$$

$$\bar{I} \hat{\alpha} \hat{\alpha} \hat{\alpha} = \frac{d \cdot m \cdot V_{i \cdot \hat{E}} \cdot \hat{E} \cdot \hat{D} \hat{E} \cdot C_{\hat{E}}^{3,5} \cdot \rho \cdot C_{i \hat{I}} \cdot Q_{\hat{D}} \cdot D \cdot \varphi_{i \cdot \hat{N}} \cdot Q_{i \cdot \hat{Q}}}{\hat{D}_{i \cdot \hat{D}}^{0,5} \cdot P_{\hat{E}} \cdot C_{\hat{A}} \cdot R_{i \hat{I}} \cdot V_{\hat{E}}^{1,33} \cdot P_{i \cdot \hat{P}}^4 \cdot \mu \cdot \tau} \cdot 0,69 \quad (10)$$

Для влажно-тепловой фиксации:

$$\prod_{i=1}^k \pi_{i_{\Delta_{полн}}} = \frac{\pi_{\Delta_{полн}} \cdot \pi_d \cdot \pi_{P_{П}} \cdot \pi_{\varphi_{П.С}} \cdot \pi_{T_K} \cdot \pi_{\tau} \cdot \pi_{F_{\Phi}}}{\pi_{\Delta P} \cdot \pi_{\mu}} = 0,11, i = \overline{1, k}, k = 9 \quad (11)$$

$$\bar{\Delta} \hat{i} \hat{i} \hat{i} = \frac{d \cdot D_{i \cdot \hat{D}} \cdot \hat{D} \hat{E} \cdot \varphi_{i \cdot \hat{N}} \cdot \tau \cdot F_{\hat{D}} \cdot \hat{D}_{i \cdot \hat{D}}}{\Delta P \cdot \mu \cdot V_K \cdot \hat{N}_{\hat{E}}^{0,5} \cdot Q_{i \cdot \hat{Q}}} \cdot 0,11 \quad (12)$$

Для сушки:

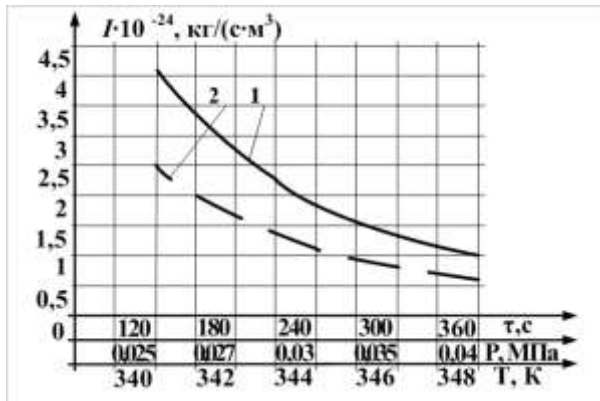
$$\prod_{i=1}^k \pi_{i_{сушка}} = \frac{\pi_{I_{сушка}} \cdot \pi_d \cdot \pi_{m_3} \cdot \pi_{V_{МК}} \cdot \pi_{Q_{П}} \cdot \pi_{\rho} \cdot \pi_{C_{ПО}} \cdot \pi_{Q_T} \cdot \pi_D \cdot \pi_{\varphi_{П.С}} \cdot \pi_{T_K}}{\pi_{P_K} \cdot \pi_{C_B} \cdot \pi_{R_{ПО}} \cdot \pi_{\mu} \cdot \pi_{\tau}} = 2,09, i = \overline{1, k}, k = 17 \quad (13)$$

$$\bar{I} \hat{N} \hat{O} \hat{\Phi} = \frac{d \cdot m \cdot V_{i \cdot \hat{E}} \cdot \hat{E} \cdot \hat{D} \hat{E} \cdot C_{\hat{E}}^{3,5} \cdot \rho \cdot C_{i \hat{I}} \cdot Q_{\hat{D}} \cdot D \cdot \varphi_{i \cdot \hat{N}} \cdot Q_{i \cdot \hat{Q}} \cdot \hat{E}}{\hat{D}_{i \cdot \hat{D}}^{0,5} \cdot P_{\hat{E}} \cdot C_{\hat{A}} \cdot R_{i \hat{I}} \cdot V_{\hat{E}}^{1,33} \cdot P_{i \cdot \hat{P}}^4 \cdot \mu \cdot \tau} \cdot 2,09 \quad (14)$$

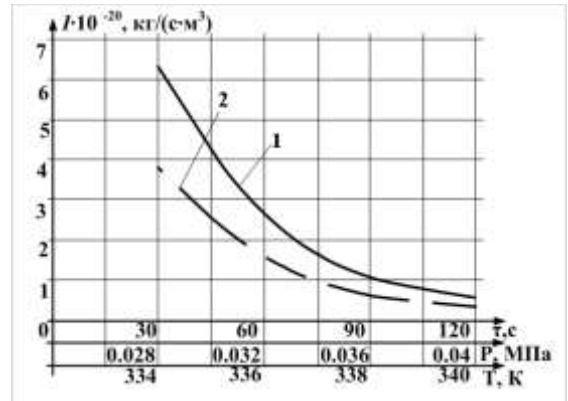
Для влажно-тепловой обработки:

$$\prod_{i=1}^k \pi_{i_{ВТО}} = \frac{\pi_{I_{ВТО}} \cdot \pi_d \cdot \pi_{m_3} \cdot \pi_{V_{МК}} \cdot \pi_{Q_{П}} \cdot \pi_{\rho} \cdot \pi_{C_{ПО}} \cdot \pi_{Q_T} \cdot \pi_D \cdot \pi_{\varphi_{П.С}} \cdot \pi_{T_K}}{\pi_{P_K} \cdot \pi_{C_B} \cdot \pi_{R_{ПО}} \cdot \pi_{\mu} \cdot \pi_{\tau}} = 0,39, i = \overline{1, k}, k = 16 \quad (15)$$

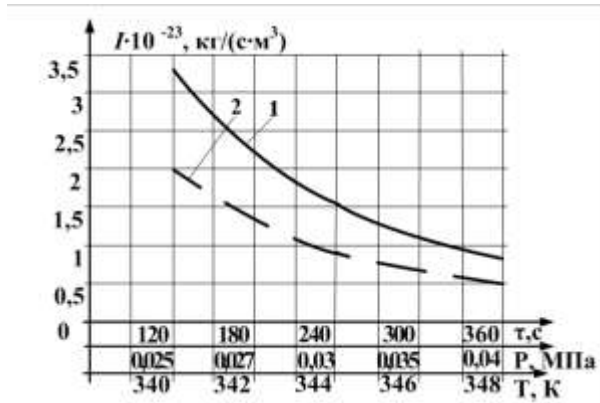
$$\bar{I} \hat{ВТО} = \frac{d \cdot m \cdot V_{M.K.} \cdot T_K \cdot C_K^{3,5} \cdot \rho \cdot C_{ПО} \cdot Q_T \cdot D \cdot \varphi_{П.С} \cdot Q_{П}}{T_H^{0,5} \cdot P_K \cdot C_B \cdot R_{ПО} \cdot V_K^{1,33} \cdot P_H^4 \cdot \mu \cdot \tau} \cdot 0,39 \quad (16)$$



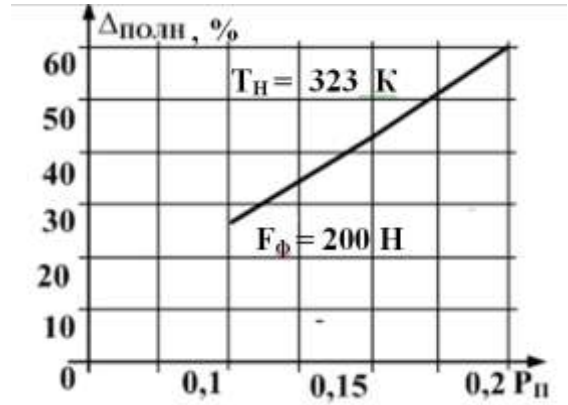
а)



б)



в)



г)

а) при увлажнении; б) при влажно-тепловой обработке; в) при сушке;  
г) полной деформации от усилия прижатия: — при подаче пара с бахтармянной стороны; - - - при подаче пара с лицевой стороны

Рисунок 7 – Зависимости интенсивности ( $I$ ) и полной деформации ( $\Delta_{полн}$ ) от способов подачи пара, времени, температуры и давления

Таким образом, модели (9-16) и зависимости (рисунок 7) для детерминированных значений выходных функциональных характеристик (интенсивностей –  $I$ ) подсистем ИГО и связанных с ними критериальными зависимостями параметров обработки ( $P$ ,  $T$ ,  $\tau$ ,  $\rho$ ) позволяют управлять процессами ИГО с целью достижения их максимальной производительности.

Для обеспечения качества гигротермической обработки, оцениваемого показателями физико-механических свойств натуральных кожевенно-обувных материалов, имеющих стохастическую природу строения, необходимо учитывать и возможное отклонение параметров обработки –  $P$ ,  $T$ ,  $\tau$ ,  $\rho$  от их номинальных значений, то есть рассматривать стохастическое подобие функционирования подсистем.

Разработанная методика формирования математических моделей стохастического подобия предусматривает:

1) Получение функциональной зависимости выходной характеристики системы от определяющих её состояние параметров входных, задающих, возмущающих воздействий и внутренних (структурных) параметров системы.

2) Формирование методом нулевых размерностей (как правило) выражений для частных критериев подобия в соответствии с исходной функциональной зависимостью.

3) Объединение полученных выражений для частных критериев подобия по физической значимости и целевой задаче.

4) Определение численных значений объединённых критериев по номинальным значениям параметров функционирования подсистем ИГО с целью формирования обобщённых критериальных выражений.

5) Получение из обобщённых критериальных выражений выходной характеристики подсистемы.

6) Установление граничных значений для выходной характеристики функционирования подсистем ИГО и параметров функционирования.

7) Определение значения выходной характеристики подсистемы ( $Y_i$ ) в стохастическом смысле вероятностным методом, исходя из возможных отклонений независимых параметров ( $X_j, Z_j, S_j$ ) от их номинальных значений из-за стохастического строения кожи. Для этого производится разложение полученного обобщённого критериального выражения в ряд Тейлора и использованием для расчётов линейных членов этого ряда:

$$Y_i = f_i(\pi_{yi}, X_j, Z_j, S_j) = \pi_{yi} \left[ f_i(M_{xj}, M_{zj}, M_{sj}) + \frac{\partial f_i}{\partial X_j} (X_j - M_{xj}) + \frac{\partial f_i}{\partial Z_j} (Z_j - M_{zj}) + \frac{\partial f_i}{\partial S_j} (S_j - M_{sj}) \right] \quad (17)$$

где  $M_{xj}$ ,  $M_{zj}$ ,  $M_{sj}$  – математические ожидания значений независимых параметров;  $\frac{\partial f_i}{\partial X_j}$ ,  $\frac{\partial f_i}{\partial Z_j}$ ,  $\frac{\partial f_i}{\partial S_j}$  – частные производные функции связи по независимым параметрам.

В качестве математических ожиданий принимаются номинальные значения независимых параметров.

8) Построение графических зависимостей выходной характеристики функционирования от независимых параметров с учётом стохастического строения кожи.

9) Определение зоны гарантированного гигротермического воздействия на кожевенно-обувные материалы с учётом их стохастического строения.

10) Проверка возможности назначения минимальных по времени режимов обработки из сопоставления суммы относительных отклонений (ошибок) независимых параметров от их номинальных значений в связи со стохастическим строением кожи с пределом относительных допусков на изменение выходной характеристики рассматриваемой подсистемы:

$$-\delta_{yi_0}^H \leq (\alpha_j \delta_{xj} + \beta_j \delta_{zj} + \gamma_j \delta_{sj})_i \leq \delta_{yi_0}^B, \quad (18)$$

где  $\delta_{yi_0}^H$ ,  $\delta_{yi_0}^B$  – относительное отклонение (ошибки) номинальных значений характеристик функционирования подсистемы, выражение в скобках – функционал ( $\Phi$ ) независимых параметров в отклонениях;  $\alpha_j$ ,  $\beta_j$ ,  $\gamma_j$  – показатели степени при соответствующих независимых параметрах в



критериальных зависимостях;  $\delta_{x_j}, \delta_{z_j}, \delta_{s_j}$  – относительные отклонения (ошибки) значений независимых параметров в критериальных зависимостях, равные:

$$\delta_{x_j} = \frac{X_j - X_{j_0}}{X_j}; \quad \delta_{z_j} = \frac{Z_j - Z_{j_0}}{Z_j}; \quad \delta_{s_j} = \frac{S_j - S_{j_0}}{S_j}, \quad (19)$$

В качестве примера ниже приведена, сформированная в соответствии с разработанной методикой, функциональная зависимость выходной характеристики процесса вакуумно-сорбционного увлажнения, которая имеет вид:

$$E_K = f(d, m_3, V_{M.K}, Q_{П}, C_K, \mu, \varphi_{П.С}, T_H, T_K, P_H, P_K, \tau, Q_T, V_K, D, \rho, C_{П.О}, R_{П.О}). \quad (20)$$

С учётом этой зависимости по рассмотренной методике были получены частные  $\pi$ -критерии подобия, объединённые по физической значимости (таблица 3).

Для получения:

критерия -  $\pi_{Ki}$  объединялись частные критерии:  $\pi_{Q_{П}}, \pi_{C_K}, \pi_{\mu}, \pi_d, \pi_{m_3}, \pi_{E_K}, \pi_{C_{К.О}}$ ;

критерия -  $\pi_{Ti}$  объединялись частные критерии  $\pi_{T_K}, \pi_{P_K}, \pi_D, \pi_{\rho}$ ;

критерия -  $\pi_{Ci}$  объединялись частные критерии  $\pi_{V_K}, \pi_{C_{П.О}}, \pi_{Q_{Т}}$ .

Объединённые критерии, полученные при принятых условиях однозначности (таблица 2) для подсистемы «увлажнение» и условиях однозначности для других подсистем системы ИГО и, исходя из условия подобия функционирования рассматриваемых подсистем:  $\pi_i = idem = const.$ , приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Объединённые по целевой задаче критерии подобия функционирования подсистем системы интенсифицированной гигротермической обработки с применением вакуума

Подсистемы ИГО	«Увлажнение»	«Сушка»	«Влажно-тепловая обработка»	«Фиксация»
Объединённый критерий подобия	2	3	4	5
1	2	3	4	5
$\pi_{Ki}$ – критерий эффективности обработки кожи	$\pi_{Ky} = \frac{P_H^{3,5} \cdot \tau^2}{T_H \cdot \rho^{0,5} E_K} A$ = 50,7	$\pi_{Kc} = \frac{P_H^3 \cdot \tau^1 \cdot \rho}{T_H \cdot \Delta K} A$ = 70,4	$\pi_{KHTO} = \frac{P_H^{2,5} \cdot \tau^2}{T_H \cdot \rho^{0,5} \cdot \Delta K} A$ = 15,5	$\pi_{K\Phi} = \frac{P_H^3 \cdot \tau \cdot \rho^3}{T_H \cdot \Delta K} A$ = $80 \cdot 10^{-4}$
	$A = \frac{d}{m} \cdot \frac{1}{C_k \cdot Q_n \cdot \mu}$		$A = \frac{d}{F\phi} \cdot \frac{1}{C_k \cdot Q_n}$	
$\pi_{Ti}$ – критерий интенсивности процесса	$\pi_{Ti} = \frac{T_K \cdot P_H^{1,5}}{T_H \cdot P_K \cdot D \cdot \tau \cdot \sqrt{\rho}}$			$\pi_{T\Phi} = \frac{P_H^2}{T_K \cdot P^2}$
	$\pi_{Ty} = 5494$	$\pi_{Tc} = 4797$	$\pi_{Temo} = 15550$	$\pi_{T\Phi} = 3,91$

1	2	3	4	5
	При совмещении операций $\pi_{T\Sigma} = \frac{T_n}{P_n^{0,5} \cdot D \cdot I \cdot \mu} \cdot \frac{P_K}{T_K \cdot \tau^2 \cdot \rho^{1,5}} = 1,78 \cdot 10^{26}$			
$\pi_{Ci}$ - критерий пригодности оборудования для конкретной операции	$\pi_{Ci} = \frac{V_K \cdot P_H^2}{Q_T \cdot C_{ПО} \cdot \rho}$			
	$\pi_{Cy} = 34,6$	$\pi_{Ce} = 38,3$	$\pi_{Cвто} = 36$	$\pi_{Cф} = 38,3$

Из обобщённого критериального выражения для критерия эффективности при увлажнении  $\pi_{Ky}$  (таблица 3) получено выражение для конечного (после обработки) модуля упругости кожи  $E_K$ :

$$E_K = \frac{1}{\pi_{Ky}} \cdot \frac{d}{m_3} \cdot \Pi \cdot \frac{1}{C_K Q_n \mu} \cdot \frac{P_n^{3,5} \tau^2}{T_n \rho^{0,5}}, \quad (21)$$

где  $\Pi$  – условная микрокапиллярная пористость кожи.

Граничные значения выходной характеристики функционирования подсистемы «увлажнение» и независимых параметров установлены на основе экспериментальных исследований, выполненных в четвёртой главе:

$$\left. \begin{aligned} 10^6 \cdot 17,9 \leq E\hat{e} \leq 24,1 \cdot 10^6; \\ 0,02 \cdot 10^6 \leq P \leq 0,05 \cdot 10^6; \\ 328 \leq T \leq 333; \\ 120 \leq \tau \leq 360, \\ 0,16 \leq \rho \leq 0,26 \end{aligned} \right\} \quad (22)$$

После разложения в ряд Тейлора уравнения (21) определено значение выходной характеристики подсистемы в стохастическом смысле подстановкой в нижеприведённое выражение численных значений его составляющих:

$$E_{\kappa i} = E_K + \frac{A}{\pi_{Ky}} \cdot \Pi \cdot \left[ \frac{\partial f}{\partial P} \cdot (P_{cp} - P_i) + \frac{\partial f}{\partial T} \cdot (T_{cp} - T_i) + \frac{\partial f}{\partial \tau} \cdot (\tau_{cp} - \tau_i) + \frac{\partial f}{\partial \rho} \cdot (\rho_{cp} - \rho_i) \right], \quad (23)$$

где  $A = \frac{d}{m} \cdot \frac{1}{c_k \cdot Q_n \cdot \mu}$  – коэффициент связи параметров, характеризующих физико-механические свойства кожи;  $f = \frac{P_n^{3,5} \cdot \tau^2}{T_n \cdot \rho^{0,5}}$  – функция связи по независимым

параметрам ( $P, T, \tau, \rho$ );  $\frac{\partial f}{\partial P}; \frac{\partial f}{\partial T}; \frac{\partial f}{\partial \tau}; \frac{\partial f}{\partial \rho}$  – частные производные функции связи по независимым параметрам;  $P_{cp}, T_{cp}, \tau_{cp}, \rho_{cp}$  – средние значения параметров в рассматриваемых интервалах.

Значения частных производных функции связи  $f = \frac{P_H^{3,5} \tau^2}{T_H \rho^{0,5}}$  по независимым параметрам вычислены при подстановке в них номинальных значений независимых параметров:  $P = 20 \cdot 10^3$  Па;  $T = 328$  °К;  $\tau = 360$  с;  $\rho = 0,26$  кг/м<sup>3</sup>:

$$\frac{\partial f}{\partial P} = \frac{7\tau^2 P_H^{5/2}}{2T_H \sqrt{\rho}} = 16 \cdot 10^{13}; \quad \frac{\partial f}{\partial T} = \frac{-\tau^2 \cdot P_H^{3,5}}{T_H \sqrt{\rho}} = -87,0 \cdot 10^{16};$$

$$\frac{\partial f}{\partial \tau} = \frac{2\tau P_H^{3,5}}{T_H \sqrt{\rho}} = 0,48 \cdot 10^{16}; \quad \frac{\partial f}{\partial \rho} = \frac{-\tau^2 P_H^{3,5}}{2T_H \rho^{3/2}} = -167 \cdot 10^{16}.$$

Для нахождения средних значений параметров обработки использованы экспериментальные данные, полученные в работе и приведённые в таблице 4.

Таблица 4 – Экспериментальные значения параметров процесса вакуумно-сорбционного увлажнения

Обозначение параметров	Размерность	Значения параметров			
$S_j$ (время - $\tau$ )	$c$	120	240	360	480
$X_j$ (давление - $P$ )	$Па$	$25 \cdot 10^3$	$30 \cdot 10^3$	$40 \cdot 10^3$	$50 \cdot 10^3$
$Z_j$ (температура - $T$ )	$K$	328	330	331	333
$R_j$ (плотность - $\rho$ )	$кг/м^3$	$16 \cdot 10^{-2}$	$19 \cdot 10^{-2}$	$26 \cdot 10^{-2}$	$36 \cdot 10^{-2}$

После подстановки в выражение (23) численных значений параметров, соответствующих, например, времени обработки, равному 4-м минутам, получено значение  $Y_i$ :

$$Y_i = 22 \cdot 10^6 + 0,1 \cdot (12,6 \cdot 10^{-10} / 50,7) \cdot [16 \cdot 10^{16} (30-20) - 87 \cdot 10^{16} (330-328) + 0,48 \cdot 10^{16} (240-360) - 167 \cdot 10^{16} (0,19-0,26)] = 23,4 \cdot 10^6, \text{ Па.} \quad (24)$$

Построенные графические зависимости модуля упругости кожи -  $E_K$  от времени вакуумно-сорбционного увлажнения с учётом стохастического характера строения кожи (микрокапиллярная пористость  $П$  кож хромового дубления варьируется от 0,1 до 0,4) приведены на рисунке 8.

Полученная величина  $Y_i$  (24) находится в пределах минимальных и максимальных её значений (22), но для установления подобия функционирования подсистем и в стохастическом смысле нужно, чтобы суммы относительных изменений (ошибок) этих комплексов, с учётом их корреляции от размерности характеристик функционирования, находились в пределах относительных допусков на изменения этих характеристик.

Численные значения ошибок независимых параметров составили:

$$\delta_{X_j} = \frac{X_j - X_{j_0}}{X_j} = (30-20) / 30 = 0,33, \quad \delta_{Z_j} = \frac{Z_j - Z_{j_0}}{Z_j} = (330-328) / 330 = 0,01,$$

$$\delta_{S_j} = \frac{S_j - S_{j_0}}{S_j} = (240 - 360) / 240 = -0,5, \quad \delta_{R_j} = \frac{R_j - R_{j_0}}{R_j} = (19 - 26) / 19 = -0,368.$$

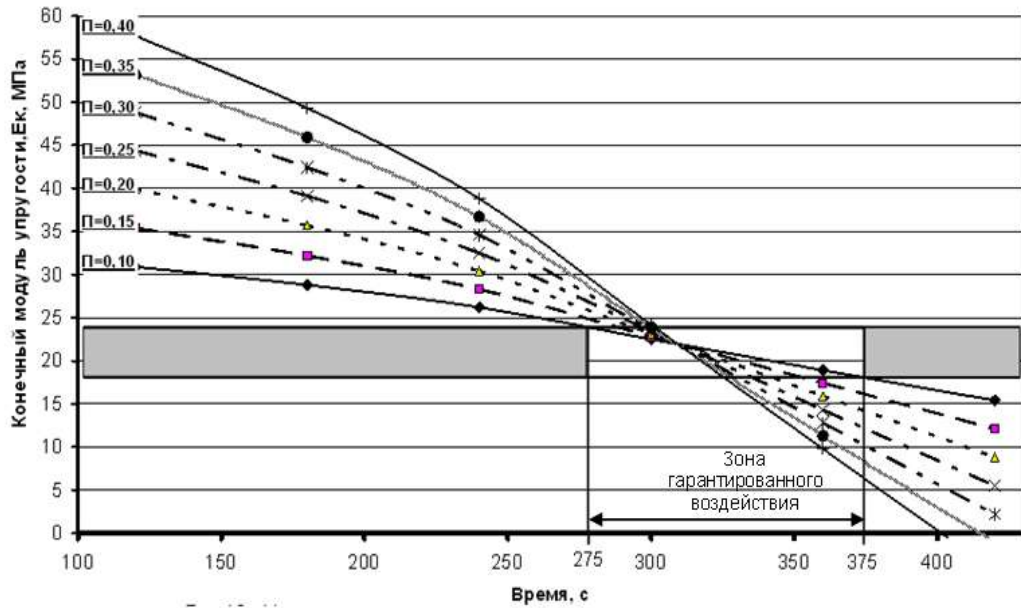


Рисунок 8. – Изменения конечного модуля упругости кож хромового дубления  $E_K$  от условной микрокапиллярной пористости  $\Pi$  при вакуумно-сорбционном увлажнении

Численное значение функционала (18) составило:

$$0,33 \cdot 3,5 + 0,01 \cdot 1 - 0,5 \cdot 0,368 \cdot 1 - 0,5 \cdot 2 = -0,02.$$

Относительные отклонения (ошибки) номинальных значений характеристик функционирования подсистемы -  $\delta_{y_0}^H, \delta_{y_0}^B$ :

$$\delta_{y_0}^H = (17,9 - 23,4) / 17,9 = -0,3, \quad \delta_{y_0}^B = (24,1 - 23,4) / 24,1 = 0,029$$

Полученное значение функционала (-0,02) находится в границах установленного интервала, то есть рассматриваемые подсистемы будут подобны и в стохастическом смысле. Таким образом, полученные графические зависимости (рисунок 8) позволяют определить зону гарантированного воздействия ИГО в пределах времени от 275 до 375 секунд по выходному параметру подсистемы  $E_K$ , в пределах которой можно корректировать длительность процесса с целью достижения максимальной производительности при обработке кож с различным содержанием микрокапилляров (от 10 до 40%).

Рассмотренная методика может быть использована для других подсистем ИГО (таблица 3) при проектировании специализированного оборудования, а

при проектировании унифицированного оборудования используется критерий интенсивности  $\pi_{T_2}$ , учитывающий совмещение операций и коэффициент изменения первоначального объема  $v$  рабочей камеры –  $K = v/v^1$ , изменяемый от 0,1 до 0,4.

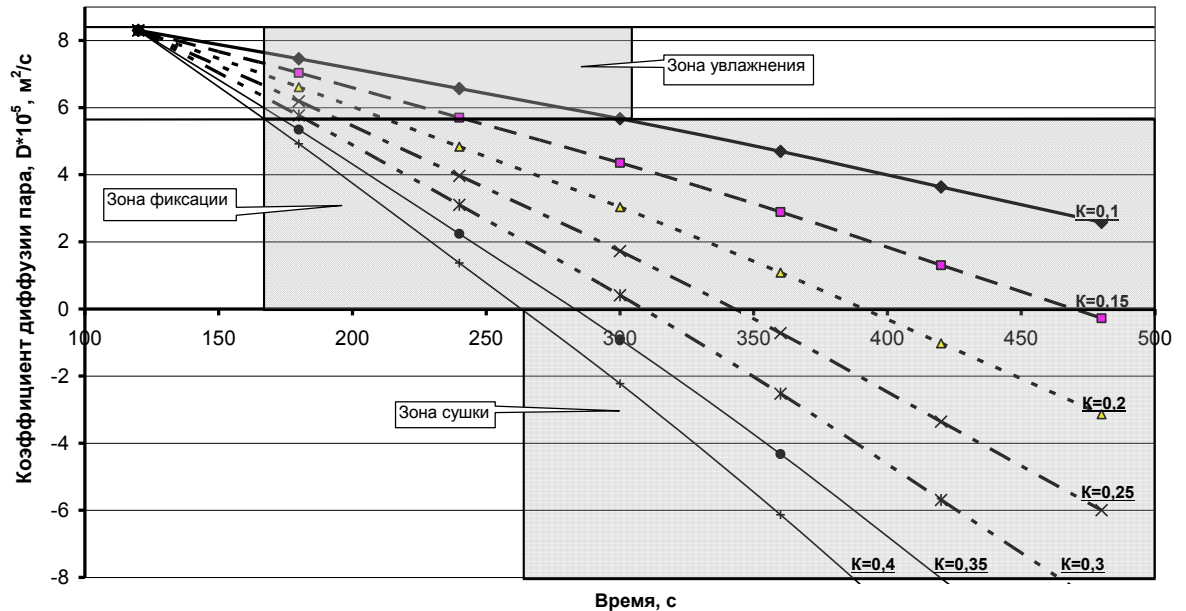


Рисунок 9 – Изменения коэффициента диффузии пара  $D$  от времени ИГО при последовательно-параллельном совмещении операций

Построенные по приведённой методике графические зависимости (рисунок 9) позволяют определять, например, для коэффициента  $K = 0,4$ , время переходов от одной операции – увлажнения выполняемого в течение 175 секунд, к другой – фиксации, выполняемой в промежутке от 175 до 265 секунд (коэффициент диффузии  $D$  положителен) и к третьей – сушке, выполняемой в промежутке от 265 до 375 секунд (коэффициент диффузии  $D$  отрицателен). Таким образом, время обработки в унифицированном оборудовании составило 375 секунд, что в 2,9 раза меньше суммарного времени всех операций ( $360 \cdot 3 = 1080$  с), выполняемых на специализированном оборудовании (таблица 2).

Критерии интенсивности отдельных процессов и их численные значения (таблица 3) использованы при разработке систем управления процессами ИГО (Пат. № 2411888).

Рассмотренные модели апробированы на практике, а результаты исследований отражены в публикациях в ведущих рецензируемых журналах.

**В шестой главе** рассмотрены вопросы создания и использования оборудования на различных этапах жизненного цикла (ЖЦ) для интенсифицированной гигротермической обработки натуральных

кожевенно-обувных материалов на основе полученных методом подобия математических моделей, приведённых в таблице 5.

Таблица 5 – Система математических моделей принятия технических решений на различных этапах жизненного цикла оборудования для ИГО

Этап ЖЦ	Техническая задача	Базовый критерий	Математическая модель выходной характеристики процесса (оборудования)	Результат
1	2	3	4	5
Проектирование	Разработка оборудования для ИГО			
	а) при увлажнении	$I$	$I = \frac{d \cdot m \cdot V_{M.K.} \cdot T_K \cdot C_K^{3.5} \cdot \rho \cdot C_{ПО} \cdot Q_T \cdot D \cdot \varphi_{П.С} \cdot Q_{П}}{T_H^{0.5} \cdot P_K \cdot C_B \cdot R_{ПО} \cdot V_K^{1.33} \cdot P_H^4 \cdot \mu \cdot \tau} \cdot 0,69$	А.с. №1099944
	б) при фиксации	$\Delta_{Полн}$	$\Delta_{Полн} = \frac{d \cdot P_{П} \cdot T_K \cdot \varphi_{П.С} \cdot \tau \cdot F_{\Phi} \cdot T_H}{\Delta P \cdot \mu \cdot V_K \cdot C_K^{0.5} \cdot Q_{П}} \cdot 0,11$	Пат №2312573
а) <u>оборудования</u>	в) при сушке	$I$	$I = \frac{d \cdot m \cdot V_{M.K.} \cdot T_K \cdot C_K^{3.5} \cdot \rho \cdot C_{ПО} \cdot Q_T \cdot D \cdot \varphi_{П.С} \cdot Q_{П} \cdot K}{T_H^{0.5} \cdot P_K \cdot C_B \cdot R_{ПО} \cdot V_K^{1.33} \cdot P_H^4 \cdot \mu \cdot \tau} \cdot 2,09$	Пат №2312574
	г) при ВТО	$I$	$I = \frac{d \cdot m \cdot V_{M.K.} \cdot T_K \cdot C_K^{3.5} \cdot \rho \cdot C_{ПО} \cdot Q_T \cdot D \cdot \varphi_{П.С} \cdot Q_{П}}{T_H^{0.5} \cdot P_K \cdot C_B \cdot R_{ПО} \cdot V_K^{1.33} \cdot P_H^4 \cdot \mu \cdot \tau} \cdot 0,39$	Пат №2414832
	д) при совмещении операций	$\pi_{T\Sigma}$	$\pi_{T\Sigma} = \frac{T_H}{P_H^{0.5} \cdot D \cdot I \cdot \mu} \cdot \frac{P_K}{T_K \cdot \tau^2 \cdot \rho^{1.5}} = 1,78 \cdot 10^{26}$	Пат. №2312573, №2411888
	а) интенсификация ИГО	$\mu$	$\mu = \frac{d \cdot m \cdot V_{M.K.} \cdot T_K \cdot C_K^{3.5} \cdot \rho \cdot C_{ПО} \cdot Q_T \cdot D \cdot \varphi_{П.С} \cdot Q_{П}}{I \cdot T_H^{0.5} \cdot P_K \cdot C_B \cdot R_{ПО} \cdot V_K^{1.33} \cdot P_H^4 \cdot \tau} \cdot 0,69$	Пат. №1521446
б) <u>способов</u>	б) расширение технологических возможностей	$F_{\Phi}$	$F_{\Phi} = \frac{\Delta P \cdot \mu \cdot V_K \cdot C_K^{0.5} \cdot Q_{П} \cdot \Delta_{Полн}}{d \cdot P_{П} \cdot T_K \cdot \varphi_{П.С} \cdot \tau \cdot T_H} \cdot 0,11$	Пат №2203600
	в) циклодинамического формования	$K$	$K = \frac{I \cdot T_H^{0.5} \cdot P_K \cdot C_B \cdot R_{ПО} \cdot V_K^{1.33} \cdot P_H^4 \cdot \mu \cdot \tau}{d \cdot m \cdot V_{M.K.} \cdot T_K \cdot C_K^{3.5} \cdot \rho \cdot C_{ПО} \cdot Q_T \cdot D \cdot \varphi_{П.С} \cdot Q_{П}} \cdot 2,09$	Пат №2445907
	г) гигротермической фиксации	$\Delta P$	$\Delta P = \frac{d \cdot P_{П} \cdot T_K \cdot \varphi_{П.С} \cdot \tau \cdot F_{\Phi} \cdot T_H}{\Delta_{Полн} \cdot \mu \cdot V_K \cdot C_K^{0.5} \cdot Q_{П}} \cdot 0,11$	Пат №2349258
Модернизация	а) снижение энергопотребления	$Q_T$	$Q_T = \frac{T_H^{0.5} \cdot P_K \cdot C_B \cdot R_{ПО} \cdot V_K^{1.33} \cdot P_H^4 \cdot \mu \cdot \tau}{d \cdot m \cdot V_{M.K.} \cdot T_K \cdot C_K^{3.5} \cdot \rho \cdot C_{ПО} \cdot D \cdot \varphi_{П.С} \cdot Q_{П}} \cdot 0,69$	№1391589 №1715294
Эксплуатация	а) способы управления; б) средства управления		$\frac{T_K}{P_K} = \frac{\pi \cdot T_H \cdot D \cdot \tau \cdot \sqrt{\rho}}{P_H^{1.5}}$ $V_K = \frac{\pi \cdot C_{П.О.} \cdot Q_T \cdot \rho}{P_H^2}$	№2411888 №2414832
Диагностика	определение влажности		$V_{M.K.} = \frac{T_H^{0.5} \cdot P_K \cdot C_B \cdot R_{ПО} \cdot V_K^{1.33} \cdot P_H^4 \cdot \mu \cdot \tau}{d \cdot m \cdot T_K \cdot C_K^{3.5} \cdot \rho \cdot C_{ПО} \cdot Q_T \cdot D \cdot \varphi_{П.С} \cdot Q_{П}} \cdot 0,69$	№2447822

## **ОБЩИЕ ВЫВОДЫ ОБ ОСНОВНЫХ РЕЗУЛЬТАТАХ РАБОТЫ**

1. На основе анализа современных технологий и оборудования для интенсифицированной гигротермической обработки (ИГО) натуральных кожевенно-обувных материалов с использованием вакуума установлено, что при интенсификации процессов ИГО не учитываются возможности направленных тепло- и влагопотоков, воздействующих на микрокапиллярную структуру с бахтармянной стороны кож, и возможное при этом совмещение ряда технологических операций на соответствующем унифицированном оборудовании, а в теоретических исследованиях практически отсутствуют математические модели, объединяющие параметры процессов ИГО с показателями физико-механических свойств обрабатываемых материалов и оборудования.

2. Выдвинута, теоретически обоснована и экспериментально доказана гипотеза о существовании при низких парциальном давлении и температуре избирательной конденсации пара в системе микрокапилляров кожи в условиях вакуума, способствующей интенсификации сорбции влаги в микрокапиллярах, образованию новых связей в структуре кожи, не разрушаемых при повторных воздействиях тепла и влаги, фиксации и сохранению её формы в новом зафиксированном состоянии при последующих интенсифицированных методах обработки.

3. Сформулирована и обоснована концепция исследования и разработки унифицированного оборудования для ресурсосберегающих технологий интенсифицированной гигротермической обработки натуральных кожевенно-обувных материалов в условиях вакуума, основанная на принципах системности теоретических положений гипотезы, а также математических моделей детерминированных и стохастических взаимосвязей параметров технологических процессов, капиллярной структуры кожи, оборудования.

4. Разработаны математические модели, раскрывающие теоретические положения диссертации, в том числе:

– об избирательной конденсации пара в системе микрокапилляров кожи в условиях вакуума;

– о характере распределения микрокапилляров в структуре натуральных кожевенных материалов;

– о системности связей показателей физико-механических свойств обрабатываемых материалов с параметрами технологических режимов и оборудования, учитывающих их стохастическое подобие функционирования.

5. Экспериментально установлено, что предварительное вакуумирование исключает влияние изменения степени гидрофильности поверхности структурных элементов кожи на сорбцию влаги в микрокапиллярах, что обеспечивает равномерный привес влаги в кожах различного характера выработки.

6. Установлено рациональное время вакуумно-сорбционного увлажнения, равное 6-ти минутам, при котором показатели формуемости кож и формоустойчивости максимальны.

7. Экспериментально подтверждены положения выдвинутой гипотезы о влиянии микрокапиллярной влаги при использовании вакуума на изменение физико-механических показателей кож хромового дубления: показатели формуемости повышаются в 1,5–2 раза, показатели формоустойчивости – в 1,3 раза. При этом время обработки с применением вакуума уменьшается более чем в 5 раз, по сравнению с традиционным способом.

8. Установлены возможность и эффективность применения вакуума для всех операций цикла ИГО при последовательно-параллельном совмещении их в унифицированном оборудовании с применением перфорированных колодок, обеспечивающие сокращение времени обработки более чем в 2,9 раза по сравнению с обработкой в специализированном оборудовании с использованием вакуума.

9. Концепция разработки оборудования реализована при создании новых способов и устройств, на которые получены 4 авторских свидетельства СССР и 8 патентов Российской Федерации, положенных в основу новых энергосберегающих технологий интенсифицированной гигротермической обработки.

10. Разработаны и внедрены в производство и учебный процесс рекомендации по использованию новых технологий и технических решений унифицированного оборудования для интенсифицированного гигротермического воздействия с применением вакуума.

## **ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ДИССЕРТАЦИИ ИЗЛОЖЕНЫ В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ:**

### **Статьи в ведущих рецензируемых научных журналах:**

1. Сурмилов, Б.И. Интенсификация процесса увлажнения в вакууме обувных заготовок / Б.И. Сурмилов, Л.В. Ларина // Известия вузов. Технология лёгкой промышленности. – 1986. – № 4. – С. 78–80.

2. Ларина, Л.В. К вопросу выбора рациональной схемы установки для увлажнения в вакууме обувных заготовок / Л.В. Ларина, К.А. Адигамов [и др.] // Известия вузов. Технология лёгкой промышленности. – 1989. – № 2. – С. 47–50.

3. Зурабян, К.М. Влияние параметров увлажнения в вакууме на физико-механические свойства кож хромового дубления / К.М. Зурабян, Т.Е. Акулова, Л.В. Ларина, [и др.] // Известия вузов. Технология лёгкой промышленности. – 1989. – № 6. – С. 34–36.

4. Ларина, Л.В. Влияние параметров увлажнения в вакууме на физико-механические свойства кож хромового дубления повышенной толщины и систем материалов / Л.В. Ларина, К.М. Зурабян [и др.] // Известия вузов. Технология лёгкой промышленности. – 1990. – № 5. – С. 75–80.



5. Ларина, Л.В. Моделирование процесса вакуумно-сорбционного увлажнения / Л.В. Ларина, А.А. Загоскин [и др.] // Современные инновационные технологии и оборудование: Всерос. науч.-техн. конф. / Под общ. ред. чл.-кор. РАН В.П.Мешалкина. – Тула: Изд-во ТулГУ. – 2006. – С. 141–143.
6. Ларина, Л.В. Один из методов математического описания гигротермической обработки заготовок верха обуви / Л.В. Ларина, В.В. Смирнов, В.А. Першин // «Известия вузов. Сев.-Кавк. регион». – Новочеркасск: ЮРГТУ. – 2009. – № 1. – С. 123–127.
7. Сорока, В.А. Особенности циклодинамического формирования заготовок верха обуви / В.А. Сорока, Л.В. Ларина, Ю.В. Присяжнюк // Известия вузов. Сев.-Кавк. регион, технические науки. – Новочеркасск: ЮРГТУ. – 2011. – № 4. – С. 136–137.
8. Ларина, Л.В. Математические модели процесса вакуумно-сорбционного увлажнения кож / Л.В. Ларина, В.И. Юрченко // Известия вузов. Сев.-Кавк. регион, технические науки. – Новочеркасск: ЮРГТУ. – 2011. – № 6. – С. 140–145.
9. Ларина, Л.В. Моделирование процесса вакуумно-сорбционного увлажнения кож // Л.В. Ларина // Известия вузов. Сев.-Кавк. регион, технические науки. – Новочеркасск: ЮРГТУ. – 2012. – № 1. – С. 129–132.
10. Ларина, Л.В. Критерии оценки эффективности процессов интенсифицированной гигротермической обработки (ИГО) на этапах формирования требуемого качества изделий [Электронный ресурс] / Л.В. Ларина, В.А. Першин [и др.] // Инженерный Вестник Дона. – 2012. – № 3. – Режим доступа: <http://www.ivdon.ru/magazine/latest/n3y2012/896/>
11. Ларина, Л.В. О стохастическом подобию функционирования системы «интенсифицированная гигротермическая обработка» кожевенно-обувных материалов [Электронный ресурс] / Л.В. Ларина, В.А. Першин // Инженерный Вестник Дона. – 2012. – № 4. – Режим доступа: <http://www.ivdon.ru/magazine/latest/n3y2012/896/>
12. Смирнов, В.В. Методы интенсификации процессов гигротермической обработки для придания материалам лёгкой промышленности свойств формоустойчивости [Электронный ресурс] / В.В. Смирнов, Л.В. Ларина [и др.] // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 6. – Режим доступа: <http://www.science-education.ru/>
13. Смирнов, В.В. Система автоматического управления процессами гигротермической обработки материалов лёгкой промышленности / В.В. Смирнов, Л.В. Ларина [и др.] // Швейная промышленность. – 2012. – № 6. – С.31–32.
14. Смирнов, В.В. К вопросу интенсификации процессов гигротермической обработки натуральных полимерных материалов лёгкой промышленности [Электронный ресурс] / В.В. Смирнов, Л.В. Ларина [и др.] // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 5. – Режим доступа: <http://www.science-education.ru/>

15. Смирнов, В.В. Создание способа гигротермической фиксации заготовок верха обуви [Электронный ресурс] / В.В. Смирнов, Л.В. Ларина [и др.] //Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 6. – Режим доступа: <http://www.science-education.ru/>

16. Larina L.V., Karaschenko V.V. Predicting Relative Humidity of Chrome-Tanned Leathers Based on Mathematikal Models of Vacuum Sorption Humidification[Электронный ресурс] / L.V. Larina, V. V. Karaschenko //World Applied Sciences Journal.- 2014.- Volume 29, Number 12.– Режим доступа: <http://www.idosi.org /wasj/ wasj/29%2812%292014.htm>

### **Патенты, авторские работы и свидетельства о регистрации программного продукта:**

16. А.с. 1090044 СССР, МКИ<sup>3</sup> А 43 D 11/14. Устройство для вакуумного увлажнения заготовок обуви / К.А. Адигамов, Б.И. Сурмилов, Л.В. Ларина, В.А. Сторчевой, С.В. Романихин, С.В. Стрелков; заявитель и патентообладатель Шахтинский технологический институт бытового обслуживания. № 3558044/28-12. Заявл. 28.02.1983. Оpubл. 30.06.1984. Бюл. № 24.

17.А.с. 1391589 СССР, МКИ<sup>3</sup> А 43 D 11/14. Устройство для вакуумного увлажнения заготовок обуви / К.А. Адигамов, Б.И. Сурмилов, Л.В. Ларина, В.В. Ширяев, Л.Н. Янкин; заявитель и патентообладатель Шахтинский технологический институт бытового обслуживания. № 4105629/28-12. Заявл. 02.06.1986. Оpubл. 30.04.1988. Бюл. № 16.

18.А.с. 15221446 СССР, МКИ<sup>3</sup> А 43 D 11/14. Способ обработки обуви /Л.В. Ларина, В.В. Бескоровайный; заявитель и патентообладатель Шахтинский технологический институт бытового обслуживания: № 4072085/30-12. Заявл. 02.06.1986. Оpubл. 15.11.1989. Бюл. № 42.

19.А.с. 1391589 СССР, МКИ<sup>3</sup> А 43 D 11/14. Устройство для вакуумного увлажнения заготовок обуви / Л.В. Ларина, К.М. Зурабян, К.А. Адигамов, В.И. Сурмилов, В.В. Ширяев; заявитель и патентообладатель Шахтинский технологический институт бытового обслуживания: № 4765202/12. Заявл. 05.12.1989. Оpubл. 10.05.2003. Бюл. № 13.

20.Пат. 2203600 Российская Федерация, МПК<sup>6</sup> А 43 D 95/10. Способ обработки обуви / Л.В. Ларина, В.В. Солоничев, Д.А. Солоничева, заявитель и патентообладатель ЮРГУЭС. № 2001106778/12. Заявл. 13.03.2001. Оpubл. 10.05.2003. Бюл. № 13.

21. Пат. 2312573 Российская Федерация, МПК<sup>6</sup> А 43 D 95/10. Устройство для гигротермической фиксации заготовок верха обуви / Л.В. Ларина, Б.И. Сурмилов, А.А. Загоскин, А.А. Малый; заявитель и патентообладатель ЮРГУЭС. № 2006114205/12. Заявл. 25.04.2006. Оpubл. 20.12.2007. Бюл. № 35.

22. Пат. 2312574 Российская Федерация МПК<sup>6</sup>, А 43 D 95/10. Устройство для вакуумного увлажнения, формования и сушки заготовок верха обуви / Л.В. Ларина, Б.И. Сурмилов, А.А. Загоскин, А.А. Малый;

заявитель и патентообладатель ЮРГУЭС. № 2006114206/12. Заявл. 25.04.2006. Оpubл. 20.12.2007. Бюл. № 35.

23. Пат. 2349238 Российская Федерация, МПК<sup>6</sup>, А 43 D 95/10. Способ гигротермической фиксации заготовок верха обуви / Л.В. Ларина, В.В. Смирнов; заявитель и патентообладатель ЮРГУЭС: № 200714334/12. Заявл. 22.11.2007. Оpubл. 20.03.2009. Бюл. № 8.

24. Пат. 2411888 Российская Федерация, МПК<sup>6</sup> А 43 D 11/00. Устройство для гигротермической фиксации заготовок верха обуви с регулируемыми параметрами рабочей среды / Л.В. Ларина, В.В. Смирнов, В.А. Сухарникова, В.П. Плотников; заявитель и патентообладатель ЮРГУЭС: № 2009149165/12. Заявл. 28.12.2009. Оpubл. 20.02.2011. Бюл. №5.

25. Пат. 2414832 Российская Федерация, МПК<sup>6</sup> А 43 D 11/00. Устройство для увлажнения заготовок верха обуви с регулируемым объёмом рабочей камеры / Л.В. Ларина, В.В. Смирнов, Б.И. Сурмилов, В.А. Сорока, С.А. Тряпичкин; заявитель и патентообладатель ЮРГУЭС. № 2010116569/12. Заявл. 26.04.2010. Оpubл. 27. 03.2011. Бюл. № 9.

26. Пат. 2447822 Российская Федерация, МПК<sup>6</sup> А 43 D 11/10. Способ определения относительной влажности кожевенно-обувных заготовок / Л.В. Ларина, В.А. Першин, В.В. Смирнов, Ю.О. Джелиев; заявитель и патентообладатель ЮРГУЭС. № 2010125397/12. Заявл. 21 .06.2010. Оpubл. 20.04.2012. Бюл. № 11.

27. Пат. 2445907 Российская Федерация, МПК<sup>6</sup> А 43 D 11/00. Способ формования давлением заготовок обуви / Л.В. Ларина, В.А. Першин, В.А. Сорока, В.В. Смирнов, заявитель и патентообладатель ЮРГУЭС. № 2011100963/12. Заявл. 12 .01.2011. Оpubл. 27.03.2012. Бюл. № 9.

28. Информационно-управляющая оболочка опытной установки для гигротермической обработки кожи / Свидетельство РФ о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2010617180 / Л.В. Ларина, И.В. Тарара, В.В. Смирнов, заявитель и патентообладатель ЮРГУЭС. № 2010 614416. Заявл. 20. 07 2010. Оpubл. 27.10.2010.

### **Публикации в журналах, сборниках трудов, материалах конференций:**

29. Ларина, Л.В. Установка для увлажнения заготовок верха обуви в вакууме / Л.В. Ларина // Материалы областной науч.-практич. конф. Тезисы докл. – Ростов н/Д. – 1984. – С. 15–16.

30. Ларина, Л.В. Исследование влияния режимов увлажнения в вакууме на физико-механические свойства полимерных материалов / Л.В. Ларина // Прогрессивная техника и технология, системы управления и автоматизированного проектирования в текстильной и лёгкой промышленности: Межвуз. сб. науч. трудов по материалам научно-технической конференции. – М., 1989. – С. 23–25.

31. Ларина, Л.В. Исследование процесса вакуумно-сорбционного увлажнения кож хромового метода дубления / Л.В. Ларина //

Совершенствование техники, технологии и проблемы экологии производств: сб. науч. трудов. – Шахты: ШТИБО, 1994. – С. 34–36.

32. Ларина, Л.В. Исследование процесса вакуумно-сорбционного увлажнения кож хромового метода дубления / Л.В. Ларина // Совершенствование технологических процессов изготовления одежды и обуви: сб. науч. трудов. – Шахты: ШТИБО. – 1994. – Вып. 5. – С. 85–87.

33. Ларина, Л.В. Устройство для предварительного формования обувных заготовок в вакууме / Л.В. Ларина, В.Б. Узули // Применение математических методов в вопросах совершенствования техники и технологии лёгкой промышленности: сб. науч. трудов. – Шахты: ШТИБО. – 1995. – Вып. 17. – С. 69–71.

34. Ларина, Л.В. Устройство для вакуумно-сорбционного увлажнения обувных заготовок / Л.В. Ларина // Автосервис, машины и агрегаты, механика: сб. науч. трудов. – Шахты: ДГАС. – 1996. – Вып. 20 (Ч. 1). – С. 110–112.

35. Ларина, Л.В. Малогабаритная комбинированная универсальная вакуумная установка для увлажнения и сушки обувных заготовок / Л.В. Ларина, Ю.Г. Сапронов // Радиотехника, оборудование и технологии сервиса: сб. науч. трудов. – Шахты: ДГАС. – 1997. – Вып. 27 (Ч. 2). – С. 99–101.

36. Ларина, Л.В. К выбору режимов формирования обувных заготовок вакуумом / Л.В. Ларина // Совершенствование техники и технологии сервиса: сб. науч. трудов. – Шахты: ДГАС. – 1999. – Вып. 32. – С. 110–111.

37. Адигамов, К.А. Вакуумно-сорбционное увлажнение заготовок верха обуви / К.А. Адигамов, Л.В. Ларина. – Новочеркасск: ЮРГТУ. – 2000. – 95 с.

38. Ларина, Л.В. Математическое моделирование процесса вакуумно-сорбционного увлажнения заготовок обуви / Л.В. Ларина, К.А. Адигамов // Моделирование. Теория, методы и средства: Материалы междунар. науч.-практич. конф. – Новочеркасск. – 2001. – С. 39–43.

39. Ларина, Л.В. Установка для предварительного формования обувных заготовок с применением вакуума и давления / Л.В. Ларина, Е.Р. Булатов // сб. науч. трудов. – Шахты: Изд-во ЮРГУЭС. – 2003. – С. 54–56.

40. Адигамов, К.А. Исследование вакуумных способов увлажнения и сушки обуви и разработка исходных требований на проектирование малогабаритной универсальной установки для увлажнения и сушки заготовок обуви в вакууме / К.А. Адигамов, Ю.Г. Сапронов, Л.В. Ларина // ВНИЦ. Сб. реф. НИР и ОКР. Сер. лёгк. пром-сть. – М., 1990. – № 7. – С. 26.

41. Ларина, Л.В. Установка для предварительного формования с применением вакуума и давления / Л.В. Ларина, Е.Р. Булатов // Оборудование предприятий сервиса: теория и опыт внедрения: Межвуз. сб. науч. трудов / Под ред. А.В. Кожемяченко. – Шахты: Изд-во ЮРГУЭС. – 2003. – С. 225–227.

42. Ларина, Л.В. Пути повышения производительности оборудования для гигро-термической обработки изделий из кожи / Л.В. Ларина, А.А. Загоскин // Проблемы машиностроения и технического обслуживания в сфере сервиса. Радиоэлектроника, телекоммуникации и информационные

технологии: Межвуз. сб. науч. трудов / под ред. С.А. Кузнецова. – Шахты: Изд-во ЮРГУЭС, 2006. – С. 13–15.

43. Ларина, Л.В. Установка для предварительного формования обувных заготовок с применением вакуума и давления / Л.В. Ларина // Вестник всеукр. нац. ун-та им. В. Даля. – Луганск. – 2006. – № 10 (104). – С. 130–133.

44. Смирнов, В.В. Исследование процесса вакуумно-сорбционного увлажнения методом подобия функционирования / В.В. Смирнов, Ларина Л.В. [и др.] // Актуальные проблемы техники и технологии: сб. науч. тр.; редкол.: Н.Н.Прокопенко [и др.]. – Шахты: Изд-во ЮРГУЭС, 2008. – С. 142–144.

45. Ларина, Л.В. Определение оптимальных режимов вакуумно-сорбционного увлажнения заготовок верха обуви / Л.В. Ларина, А.А. Загоскин // Вестник всеукр. нац. ун-та им. В. Даля. – Луганск. – 2007. – № 1 (107). – С. 261–263.

46. Ларина, Л.В. К вопросу создания универсального устройства для гигротермической фиксации заготовок верха обуви / Л.В. Ларина, А.А. Загоскин [и др.] // Бытовая техника, технология и технологическое оборудование предприятий сервиса и машиностроения: Юбилейный междунар. сб. науч. трудов / под ред. А.В. Кожемяченко. – Шахты: Изд-во ЮРГУЭС, 2007. – С. 32–33.

47. Ларина, Л.В. Определение оптимальных режимов вакуумно-сорбционного увлажнения / Л.В. Ларина, А.А. Загоскин // Бытовая техника, технология и технологическое оборудование предприятий сервиса и машиностроения: Юбилейный междунар. сб. науч. трудов / под ред. А.В. Кожемяченко. – Шахты: Изд-во ЮРГУЭС, 2007. – С. 31–32.

48. Ларина, Л.В. Математическое моделирование нанотехнологий в производстве обуви / Л.В. Ларина, В.А. Першин, В.В. Смирнов // Математическое и компьютерное моделирование естественнонаучных и социальных проблем: сб. статей 3 Междунар. науч.-техн. конф. молодых специалистов, аспирантов и студентов. – Пенза: Приволжский Дом знаний. – 2009. – С. 107–111.

49. Ларина, Л.В. Проектирование оборудования для нанотехнологий в производстве обуви / Л.В. Ларина, В.А. Першин [и др.] // Актуальные проблемы техники и технологии: сб. науч. трудов; редкол.: Н.Н. Прокопенко [и др.]; ГОУ ВПО «Южно-Рос. гос. ун-т экономики и сервиса». – Шахты: Изд-во «ЮРГУЭС», 2009. – С. 16–19.

50. Ларина, Л.В. Способ определения относительной влажности кожевенно-обувных заготовок / Л.В. Ларина, В.А. Першин [и др.] // Актуальные проблемы техники и технологии: сб. науч. трудов; редкол.: Н.Н. Прокопенко [и др.]; ГОУ ВПО «Южно-Рос. гос. ун-т экономики и сервиса». – Шахты: Изд-во «ЮРГУЭС», 2010. – С. 55–58.

51. Ларина, Л.В. Моделирование процесса циклодинамического формования заготовок верха обуви / Л.В. Ларина, В.А. Сорока // Актуальные проблемы техники и технологии: сб. науч. трудов; редкол.: Н.Н. Прокопенко

[и др.]; ГОУ ВПО «Южно-Рос. гос. ун-т экономики и сервиса». – Шахты: Изд-во «ЮРГУЭС», 2011. – С. 62–65.

52. Ларина, Л.В. Расчёт и проектирование гигротермического оборудования. Применение метода подобия функционирования технических систем / Л.В Ларина, В.А. Першин, В. Смирнов // LAP LAMBERT Academic. – 2012. – 92с.

53. Ларина, Л.В. К вопросу создания вакуумного энергосберегающего гигротермического оборудования / Л.В. Ларина // Современные наукоёмкие технологии и перспективные материалы текстильной и лёгкой промышленности (Прогресс -2012): сборник материалов междунар. науч.-техн. конф. Часть 2. – Иваново: ИГТА, 2012. – С. 163–164.

54. Ларина, Л.В. Вакуумно-капиллярная гигротермическая обработка кож: монография/ Л.В Ларина; под ред. д.т.н., проф. В.А. Першина.- Шахты : ИСОиП (филиал) ДГТУ, 2014.-136 с.

**Личный вклад диссертанта в работах, опубликованных в соавторстве:**

- П 9, 29-32, 34, 36, 53, 54 подготовлен материал и написано 100 % работы;
- П.3-5, 7, 8, 10, 11, 16-27, 33, 35-42, 43-50, 52 – подготовлен материал и написано 80 % работы;
- П. 1, 2, 6, 12, 28, 51 – предложена идея работы и написано 70 % работы;

Ларина Людмила Васильевна

**МЕТОДОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ И РАЗРАБОТКИ ПРОЦЕССОВ  
И ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ОБРАБОТКИ НАТУРАЛЬНЫХ КОЖ  
ГИГРОТЕРМИЧЕСКИМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ НА ИХ  
МИКРОСТРУКТУРУ В УСЛОВИЯХ ВАКУУМА**

Автореферат диссертации на соискание ученой степени  
доктора технических наук

Бумага офсетная. Печать цифровая  
Усл.-печ. 2,38 п.л. Тираж 100 экз. Заказ № 113-У  
Редакционно-издательский отдел МГУДТ  
117997, г. Москва, ул. Садовническая, 33, стр. 1  
Тел/факс (495) 506 72 71  
e-mail: idopost@yandex.ru  
Отпечатано в РИО МГУДТ