

На правах рукописи



Седляров Олег Иванович

**НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАЗРАБОТКИ МЕТОДОВ
ОЦЕНКИ И МОДЕЛИРОВАНИЯ ВОЗДЕЙСТВИЯ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ОБУВНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ
НА ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ПЕРСОНАЛ И ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ**

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

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Москва — 2022

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский государственный университет им. А. Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)» (ФГБОУ ВО «РГУ им. А. Н. Косыгина») на кафедре «Энергоресурсоэффективных технологий, промышленной экологии и безопасности».

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

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

доктор медицинских наук, профессор, и. о. заведующего кафедрой Общей и социальной экологии, геоэкологии и природопользования государственного образовательного учреждения высшего образования Московской области Московский государственный областной университет, г. Мытищи Московской области
Гильденскильд Сергей Русланович

доктор технических наук, профессор, первый заместитель генерального директора – директор по научной работе общества с ограниченной ответственностью «Центр исследований экстремальных ситуаций» (ООО «ЦИЭКС»), г. Москва
Ларионов Валерий Иванович

Ведущая организация: ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна», г. Санкт-Петербург

Защита состоится «23» июня 2022 г. в 10.00 на заседании диссертационного совета Д 212.144.01, созданного на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский государственный университет им. А. Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)» по адресу: 119071, г. Москва, ул. Малая Калужская, д. 1.

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

Автореферат разослан « _____ » _____ 2022 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д 212.144.01

Мезенцева Татьяна Васильевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. В «Стратегии развития промышленности РФ до 2035 г.» отмечено, что «в настоящее время наблюдается объединение экономических и экологических процессов, в том числе в пределах глобальных соглашений по климату (Парижское соглашение, принятое 12 декабря 2015 г. 21-й сессией Конференции Сторон Рамочной конвенции Организации Объединенных Наций об изменении климата). Даже при падении цен на энергоносители экологическая повестка в ближайшие годы станет источником новых требований к характеристикам продукции, как формализованных, в виде торговых барьеров, так и неформализованных, в форме меняющихся потребительских предпочтений».

Необходимость наращивания собственных производственных мощностей, создания новых рабочих мест ставят перед предприятиями лёгкой промышленности важные задачи: выпуск продукции наилучшего качества при достижении высоких показателей энергосбережения, снижении трудоемкости технологических процессов и оптимизации затрат на материалы при строгом соблюдении требований производственной и экологической безопасности.

Конституция Российской Федерации гарантирует «право на благоприятную окружающую среду, достоверную информацию о ее состоянии и на возмещение ущерба, причиненного его здоровью или имуществу экологическим правонарушением», а также «право на труд в условиях, отвечающих требованиям безопасности и гигиены...».

Обеспечение комфортных и благоприятных условий труда является одним из путей повышения эффективности производства и качества выпускаемой продукции.

Нормативное качество воздуха рабочей зоны в производственных цехах обувных предприятий достигается воздухообменом. Анализ нормативно-методических документов показывает, что определение необходимого воздухообмена в производственных цехах обувных предприятий по количеству выделяющихся вредных веществ не всегда учитывает специфику и технологические особенности изготовления изделий. Сущность применяемых методов, закрепленных в нормативных документах, заключается в определении средней концентрации вредных веществ во всем объеме производственного цеха, которая не должна превышать предельно допустимой.

Вместе с тем, даже при выполнении всех нормативных требований в производственном помещении образуются зоны, в которых концентрации, например пылевывделений, превышают средние значения. Как правило это зоны, расположенные в непосредственной близости от мест выделения вредных веществ и зоны, в которых движение воздуха ограничивается технологическим

оборудованием, элементами конструкций или другими факторами. Это обстоятельство вызывает необходимость изменить подход к оценке и определению параметров состояния воздушной среды как в производственных цехах промышленных предприятий, так и в окружающей среде. С этой точки зрения диссертация на тему «Научно-практические основы разработки методов оценки и моделирования воздействия технологических процессов обувных предприятий на производственный персонал и окружающую среду» **является актуальной**. Она отвечает Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации (Указ Президента Российской Федерации от 01.12.2016 г. № 642) и Основам государственной политики в области экологического развития Российской Федерации на период до 2030 года (Утверждены Президентом Российской Федерации 30 апреля 2012 года).

Степень научной разработанности проблемы. Существенный вклад в решение проблем совершенствования технологических процессов производства обуви, методов оценки состояния воздушной среды цехов предприятий, в том числе на основе математического моделирования, внесли Зыбин Ю. П., Фукин В. А., Островитянов Э. М., Анохин Д. И., Гвоздев Ю. М., Клобуков С. И., Нестеров В. П., Скатерной В. А., Костылева В. В., Татарчук И. Р. и др.

Тепло- и массообменными процессами, происходящими при формировании микроклимата помещения занимались такие ученые как Банхиди Л., Богословский В. Н., Белов С. В., Блази В., Малявина Е. Г. и другие. Вопросы физиолого-гигиенических требований к условиям труда и климата – Афанасьева Р. Ф., Делль Р. А., Колесников П. А., Витте Н. К. и другие. Состояние тепловой среды во взаимосвязи с рабочей одеждой для предприятий легкой промышленности наиболее полно отражено в работах Умнякова П. Н.

Моделированию процессов тепло- и массопереноса посвящены работы российских (советских) и зарубежных ученых, таких как А. А. Самарский, П. Н. Вабищевич Л. Г. Лойцянский, П. Роуч, Т. Себиси, П. Брэдшоу, S. V. Patankar, D. B. Spalding, Richard H. Pletcher, John C. Tannehill, Dale Anderson и многих других.

Одним из первых, кто применил методы вычислительной гидродинамики к исследованию вентиляции был P. Nielsen и несколько позднее Y Li, S. Murakami, S. Kato, K. Ito, Q. Zhu, S. H. Peng, A. C. K Lai и другие.

Цель диссертационной работы состоит в разработке научно обоснованных методов комплексной оценки и моделирования воздействия технологических процессов обувных предприятий на производственный персонал и окружающую среду.

Теоретическая значимость исследования подкреплена решением **научной проблемы** обоснования и совершенствования методов проектирования

технических систем, обеспечивающих минимизацию антропогенного воздействия на основе комплексной оценки и моделирования воздействия технологических процессов обувных предприятий на производственный персонал и окружающую среду.

Для достижения поставленной цели в работе решены **следующие задачи:**

- осуществлен анализ актуальной нормативной документации в области обеспечения санитарно-гигиенических и экологических требований;
- изучена и систематизирована технология производства обуви с точки зрения влияния на производственный персонал и состояние воздушной среды, включая технологические операции, сопровождающиеся выделением твердых и газообразных загрязняющих веществ, паро- и тепловыделениями;
- предложен метод расчета удельных показателей пылевыведений в зависимости от вида технологической операции, используемого оборудования, ассортимента и химического состава клеев и отделочных материалов (аппретур, красок и т. п.), технологических нормативов выполнения операций и характеристик обрабатываемого материала;
- исследованы методы расчета как параметров микроклимата и качества воздушной среды внутри производственных помещений обувных предприятий, так и параметров состояния атмосферного воздуха;
- разработана новая комплексная многомасштабная математическая модель нестационарного теплопереноса для оценки воздействия технологических процессов производства обуви как на производственный персонал, так и окружающую среду;
- предложен новый алгоритм и этапы моделирования расчета параметров теплопереноса и распространения вредных веществ для оценки воздействия технологических процессов производства обуви на производственный персонал и окружающую среду, а также его программная реализация на основе свободного программного обеспечения;
- проведена апробация разработанной математической модели и методики расчетов;
- по результатам проведенных исследований разработаны мероприятия по снижению негативного влияния на качество воздуха рабочей зоны производственных цехов обувных предприятий;
- разработан новый эколого-экономический критерий оценки негативного воздействия промышленного предприятия на атмосферный воздух.

Объектом исследования является система «Промышленное предприятие – Персонал (человек) – Окружающая среда».

Предмет исследования — технологические процессы обувных предприятий, нормативная документация в области обеспечения санитарно-

гигиенических и экологических требований, параметры воздушной среды производственных цехов обувных предприятий, параметры окружающей среды.

Диссертация отвечает формуле научной специальности «Технология кожи, меха, обувных и кожевенно-галантерейных изделий» – ...сложившаяся область науки и техники..., включающая в себя... комплексную оценку влияния промышленных объектов на природные и искусственные экосистемы; исследование условий при функционировании технических средств, как источников загрязнения и других видов антропогенного воздействия на окружающие системы; научное обоснование, разработка и совершенствование методов проектирования технических систем и нормирования проектной и изыскательной деятельности, обеспечивающих минимизацию антропогенного воздействия на живую природу...»

Диссертационная работа соответствует пунктам 23. Разработка методов оптимизации обувного и кожгалантерейного производства на основе научного прогнозирования, применения математических методов и вычислительной техники и т.д., **24.** Разработка теоретических и методических основ автоматизированного проектирования гибких производственных потоков с использованием методов имитационного моделирования; **25.** Разработка принципов практических мер, направленных на охрану живой природы, как на видовом, так и экосистемном уровне; разработка принципов создания искусственных экосистем (агроэкосистемы, объекты аквакультуры и т.п.) и управление их функционированием; **26.** Исследование влияния антропогенных факторов на экосистему производств изделий легкой промышленности для разработки экологически обоснованных норм воздействия хозяйственной деятельности человека на живую природу. Изучение общих законов взаимодействия человека и биосферы; **27.** Разработка принципов и механизмов, обеспечивающих устойчивое состояние системы «человек – производственная среда», в условиях биоразнообразия и стабильного состояния природной среды» паспорта научной специальности 05.19.05 — «Технология кожи, меха, обувных и кожевенно-галантерейных изделий».

Методология исследования базируется на общенаучных подходах системного и концептуального анализа. Для решения поставленных задач использован аппарат вычислительной математики, математического анализа и моделирования, аналитической, дифференциальной, численной геометрии и линейной алгебры, интегрального исчисления, аппроксимации, интерполяции, статистической обработки и научной визуализации данных. В работе использовано программное обеспечение операционных систем Windows и Linux, включая Microsoft Office (Word, Excel, PowerPoint) и LibreOffice, систему имитационного моделирования AnyLogic, свободное программное обеспечение и

программное обеспечение с открытым исходным кодом, включая CAD-системы и системы 3D моделирования FreeCAD, Salome, OPEN CASCADE, Blender; сеточные генераторы blockMesh, snappyHexMesh, gmesh, Netgen и другие; программное обеспечение для решения задач вычислительной гидродинамики и мультифизики OpenFOAM, codeSaturne, Elmer, FDS-SMV, программы научной визуализации и обработки результатов расчетов ParaView, gnuplot, VisIt, Octave, Scilab, а также языки программирования Python, C/C++ и Java.

Научная новизна диссертации заключается в разработке научно-практических основ и методов комплексной оценки и моделирования воздействия технологических процессов обувных предприятий на производственный персонал и окружающую среду. При этом впервые получены следующие научные результаты:

- предложены новые методы расчета удельных показателей пылевыведений в зависимости от вида технологической операции, используемого оборудования, технологических нормативов ее выполнения и характеристик обрабатываемого материала;

- разработана новая комплексная многомасштабная математическая модель нестационарного тепломассопереноса для оценки воздействия технологических процессов производства обуви как на производственный персонал, так и окружающую среду, включающая в себя математические модели процессов тепломассопереноса на уровне технологической операции, производственного участка, цеха, предприятия в целом и в окружающей среде, которые учитывают тепловыделения от человека и оборудования, мощность работы систем общеобменной и местной вентиляции, используемые в производственном процессе основные и вспомогательные материалы, а также рельеф местности и характер застройки близлежащей территории;

- выполнен расчет локального времени пребывания воздуха в любой точке помещения, позволяющий оценить эффективность работы системы вентиляции на любой стадии жизненного цикла промышленного здания, реализованный на основе разработанной комплексной математической модели;

- реализован новый подход к оценке состояния воздуха рабочей зоны, обеспечивший переход от фактически «однозонной» модели оценки качества воздушной среды производственного помещения к «пространственной» модели, позволяющей определить параметры воздушной среды в любой конкретной точке производственного помещения, на основе разработанной комплексной математической модели;

- предложен новый эколого-экономический критерий оценки негативного воздействия промышленного предприятия на атмосферный воздух,

базирующийся на понятии «условно чистого ресурса» (воды, воздуха), позволяющий значительно упростить систему экологических платежей и который может являться основой для выбора наилучших доступных технологий (НДТ) и использоваться как параметр оценки углеродного следа.

Научная новизна работы подтверждена 6 патентами на изобретения и полезные модели, свидетельством о регистрации программы для ЭВМ.

Практическую значимость работы составляют:

- программно-реализованный с использованием свободного программного обеспечения разработанный алгоритм расчета теплопереноса и распространения вредных веществ в производственных цехах обувных предприятий;

- программно-реализованный с использованием свободного программного обеспечения разработанный алгоритм расчета теплопереноса и распространения вредных веществ в приземном слое атмосферы с учетом рельефа местности и характера застройки;

- инструмент для определения динамики изменения параметров микроклимата и качества воздуха рабочей зоны на всех этапах жизненного цикла предприятия (проектирование, эксплуатация, реконструкция) в любой пространственной точке помещения и в любой момент времени;

- инструмент для определения пространственных границ и динамики изменения локальных зон с параметрами, не соответствующими нормативным требованиям (температура, концентрации загрязняющих веществ);

- способ оценки эффективности работы вентиляционных систем на основе концепции локального среднего «возраста» воздуха, характеризующего средний срок пребывания воздуха в рассматриваемой зоне, в течение которого в нем накапливались загрязняющие вещества;

- новый эколого-экономический критерий оценки негативного воздействия промышленного предприятия на атмосферный воздух, базирующийся на понятии «условно чистого ресурса» (воды, воздуха), и позволяющий на основе существующей системы экологического нормирования, значительно упростить систему экологических платежей, с учетом региональных особенностей, таких как фоновое загрязнение атмосферного воздуха и наличие особо охраняемых территорий или зон отдыха. Также новый критерий может являться основой для выбора наилучших доступных технологий (НДТ) и использоваться как параметр для оценки углеродного следа.

Достоверность результатов и проведенных исследований подтверждается согласованностью аналитических и экспериментальных результатов, применением современных методов и средств исследования, апробацией основных положений диссертации в научной периодической печати

и на конференциях, а также полученными патентами, актами внедрения и производственной апробации.

Личный вклад соискателя состоит в общей постановке задачи, выборе методов и направления исследования, в разработке математических моделей, проведении вычислительных экспериментов, в обработке и анализе их результатов, выполнении научных экспериментов, обработке и интерпретации экспериментальных данных. При непосредственном участии соискателя и под его руководством все исследования выполнены в лабораторных и промышленных условиях, подготовлены публикации по результатам исследований.

Положения, выносимые на защиту:

- научно-практические основы разработки методов оценки и моделирования воздействия технологических процессов обувных предприятий на производственный персонал и окружающую среду;
- комплексная многомасштабная математическая модель нестационарного тепломассопереноса для оценки воздействия технологических процессов производства обуви как на производственный персонал, так и окружающую среду, включающая в себя математические модели процессов тепломассопереноса на уровне технологической операции, производственного участка, цеха, предприятия в целом и в окружающей предприятие среде, которые учитывают тепловыделения от человека и оборудования, мощность работы систем общеобменной и местной вентиляции, используемые в производственном процессе основные и вспомогательные материалы, а также рельеф местности и характер застройки близлежащей территории;
- новый эколого-экономический критерий оценки негативного воздействия промышленного предприятия на атмосферный воздух.

Апробация и внедрение результатов исследования.

Теоретические положения, практические рекомендации и выводы представлялись и обсуждались в 2014–2021 гг. на:

Международной научно-технической конференции «Дизайн, технологии и инновации в текстильной и легкой промышленности (ИННОВАЦИИ)», Москва, РГУ им. А. Н. Косыгина (Московский государственный университет дизайна и технологии) 2014–2021 гг.;

Первых Международных Лыковских научных чтениях, посвящённых 105-летию академика А. В. Лыкова «Актуальные проблемы сушки и термовлажностной обработки материалов в различных отраслях промышленности и агропромышленном комплексе», Москва, Московский государственный университет дизайна и технологии, 2015;

Международной научно-технической конференции, посвящённой 105-летию со дня рождения А. Н. Плановского «Повышение эффективности процессов и аппаратов в химической и смежных отраслях промышленности», Москва, Московский государственный университет дизайна и технологии, 2016;

Международной научно-практической конференции «Переработка отходов текстильной и легкой промышленности: теория и практика», Витебск, Витебский государственный технологический университет, 2016;

III Российской конференции с международным участием «Актуальные научные и научно-технические проблемы обеспечения химической безопасности России», Киров, Международный центр научно-исследовательских проектов, 2016;

Международной научной конференции перспективных разработок молодых ученых «Наука молодых – будущее России», Курск, 2018;

IV международная конференция «Актуальные научные и научно-технические проблемы обеспечения химической безопасности», Москва, ИХФ им. Н. Н. Семенова РАН, 2018;

Международном научно-техническом симпозиуме «Энергоресурсоэффективные экологически безопасные технологии и оборудование» «Вторые международные Косыгинские чтения, приуроченные к 100-летию РГУ имени А. Н. Косыгина» «Современные задачи инженерных наук», Москва, РГУ им. А. Н. Косыгина, 2019;

Международной научно-практической заочной конференции «Концепции, теория, методики фундаментальных и прикладных научных исследований в области инклюзивного дизайна и технологий», Москва, РГУ им. А. Н. Косыгина, 2020;

III Международном Косыгинском Форуме «Современные задачи инженерных наук», МНТС «Повышение энергоэффективности и экологической безопасности процессов и аппаратов химической и смежных отраслей промышленности», посвященный 110-летию А. Н. Плановского, Москва, РГУ им. А. Н. Косыгина, 2021 и других.

Теоретические и прикладные исследования осуществлялись автором в рамках научно-исследовательских работ в период с 2001 по 2021 гг. в Московском государственном университете дизайна и технологии и РГУ им. А. Н. Косыгина:

1. Развитие научных основ конструирования и технологии производства швейных изделий и изделий из кожи с применением информационных систем и новых материалов. (4.8. Разработка системы информационно-справочной поддержки деятельности обувных предприятий в области промышленной и экологической безопасности) 2001–2005 гг.

2. Комплексный подход к решению проблемы экологической безопасности производства материалов и изделий легкой промышленности (4.2. Исследование объемно-планировочных решений с учетом распространения вредных веществ производств легкой промышленности и разработка рекомендаций по обеспечению безопасности персонала при нормальном режиме работы и в чрезвычайных ситуациях) 2006–2009 гг.

3. Экологическая безопасность производства материалов и изделий легкой промышленности (6.2. Разработка систем инженерно-экологического обеспечения обувного и кожгалантерейного производств, расположенных в быстровозводимых зданиях из легких строительных конструкций) 2009–2013 гг.

4. Экологическая безопасность технологических процессов, производств, изделий текстильной и легкой промышленности (6.2. Оценка и моделирование основных гигиенических факторов труда производственного персонала предприятий легкой промышленности) 2014–2018 гг.

5. Моделирование и проектирование технологических процессов, обеспечивающих энерго- и ресурсосбережение (2.11. Разработка энергоэффективных экологически безопасных промышленных технологий) 2019–2021 гг.

Проведена апробация разработанных методов оценки и моделирования воздействия технологических процессов обувных предприятий на производственный персонал и окружающую среду на предприятиях АО «Егорьевск-Обувь», АО «Донская обувь», АО «РЕАТЭКС», которая показала эффективность и надежность предложенной оценки и прогнозирования параметров микроклимата и качества воздуха. Также результаты работы рассмотрены Министерством экологии и природопользования Московской области, которым было отмечено, что результаты представляют интерес для внедрения в практику оценки влияния промышленного предприятия на окружающую среду.

Материалы диссертации используются в учебном процессе ФГБОУ ВО «РГУ им. А. Н. Косыгина» бакалаврами и магистрами по направлениям подготовки: 29.03.01 Технология изделий легкой промышленности; 20.03.01 (20.04.01) Техносферная безопасность в форме учебных пособий (учебников).

Публикации. Основные теоретические и прикладные результаты диссертационного исследования опубликованы в 70 научных трудах, в том числе 25 в изданиях, рекомендованных ВАК при Минобрнауки России, 6 патентов на изобретения и полезные модели, 1 свидетельство о регистрации программы для ЭВМ.

Отдельные положения и результаты диссертационного исследования нашли отражение в 3 учебных пособиях (учебниках), 5 отчетах по НИР, в материалах 28 конференций и двух статьях в других научных изданиях.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, шести глав, выводов по главам и работе в целом, библиографического списка и приложений. Работа изложена на 352 страницах машинописного текста, содержит 129 рисунков и 40 таблиц. Список литературы включает 320 библиографических и электронных источников. Приложения представлены на 65 страницах.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность темы диссертационной работы, направленной на разработку научно-обоснованных методов комплексной оценки и моделирования воздействия технологических процессов обувных предприятий на производственный персонал и окружающую среду. Сформулирована и обоснована цель работы и определены основные вопросы, решение которых необходимо для достижения поставленной цели. Показаны научная новизна и практическая ценность результатов работы.

В первой главе приводятся общие подходы к оценке негативного воздействия промышленного предприятия на персонал и окружающую среду. Система «Промышленное предприятие – Персонал (человек) – Окружающая среда» рассматривается с точки зрения движения в ней потоков вещества, энергии и информации.

Современное предприятие должно обеспечивать многообразие ассортимента выпускаемой продукции с максимальным использованием производственных площадей, имеющегося технологического оборудования, организовать безопасные условия труда производственного персонала и минимизировать негативное воздействие на окружающую среду, интенсивность которого обусловлена образованием разного рода отходов, материальных и энергетических.

Негативное воздействие на объект (производственный персонал; окружающая среда) зависит от технологий и оборудования, которые применяются на предприятии, а также сырья и материалов, используемых в производстве, режима работы оборудования.

Традиционные архитектурно-планировочные решения производственных цехов обувных предприятий, как и предприятий некоторых отраслей легкой и текстильной промышленности, например, швейных, представляют собой одноуровневые помещения с размещенным в них технологическим оборудованием и инженерными системами. При такой планировке помещений характерно наличие зон, в которых движение воздуха ограничено

технологическим и вспомогательным оборудованием, элементами конструкций или другими факторами, в результате чего возможно образование застойных зон. Микроклиматические условия и качество воздуха в подобных застойных зонах будут существенным образом отличаться от соответствующих осредненных показателей для производственного помещения в целом, что требует соответствующего учета, невозможного в рамках существующих подходов к нормированию микроклимата и качества воздушной среды.

Представленные в действующей нормативной документации методы расчета рассеивания загрязняющих веществ в приземном слое атмосферы не позволяют в полной мере учесть влияние особенностей рельефа местности и характера городской застройки, что особенно актуально для предприятий легкой промышленности, относящихся, как правило, к 4 и 5 классу и имеющих размер ориентировочной СЗЗ 100 и 50 метров соответственно, расположенных в зонах плотной застройки или в непосредственной близости от них.

Проанализированы современные подходы и программное обеспечение для моделирования и оценки влияния промышленного предприятия на персонал и окружающую среду. Показано, что в настоящее время наблюдается рост публикаций по применению вычислительной гидродинамики как в исследованиях вентиляции и воздухообмена в помещении, так и для прогноза загрязнения атмосферного воздуха

В результате проведенного в первой главе анализа сделан вывод, что для оценки взаимодействий в системе «Промышленное предприятие – Персонал (человек) – Окружающая среда», в том числе оценки воздействия технологических процессов на производственный персонал и окружающую среду, необходим комплексный подход с использованием многомасштабного моделирования, осуществляемого при помощи современного программного обеспечения, включающего в себя моделирование конкретного технологического оборудования, технологической операции, производственного участка, цеха, предприятия в целом и окружающей среды, на основе единых потоков вещества, энергии и информации, действующих в этой системе. Сформулированы задачи последующих исследований.

Во второй главе дана общая характеристика современного обувного производства как источника негативного воздействия на персонал и окружающую среду, проведен анализ условий труда на предприятиях по производству обуви.

Дана общая характеристика технологического процесса производства обуви как источника загрязнения воздушной среды, характеристики отдельных

технологических операций, сопровождающихся выделением тепла, твердых и газообразных загрязняющих веществ, а также операций с паровыделениями.

В настоящее время не существует нормативно закрепленных методов расчета пылевыведений при механической обработке как в обувном, так и в кожевенно- меховом производстве.

Для определения количественного значения выделяемых твердых загрязняющих веществ автором предлагается использовать следующий метод расчета:

$$m_{зв} = S \cdot A \cdot V \cdot \rho \quad (1)$$

где: $m_{зв}$ – максимальный выброс загрязняющего вещества, г/с; S – норматив обработки (глубина или ширина), мм; A – толщина, удаляемого слоя материала, мм; V – скорость обработки, мм/с; ρ – плотность материала, г/мм³

Результаты определения параметров выделения загрязняющих веществ и тепло- и паровыведений в технологических процессах производства обуви входят в комплексную математическую модель тепломассопереноса для оценки негативного воздействия технологических процессов производства обуви в качестве граничных условий и источниковых членов.

В третьей главе представлена математическая постановка задачи расчета параметров микроклимата и качества воздушной среды производственных помещений обувных предприятий

Математическая модель тепломассопереноса в производственных цехах обувных предприятий основана на методах вычислительной гидродинамики и состоит из системы основных дифференциальных уравнений (законов сохранения массы, импульса и энергии) и дополнительных уравнений, необходимых для ее замыкания.

Структура модели приведена на рисунке 1.

Уравнение неразрывности газовой смеси является математическим выражением закона сохранения массы газовой смеси и имеет следующий вид:

$$\frac{\partial \rho}{\partial \tau} + \frac{\partial}{\partial x}(\rho w_x) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho w_y) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho w_z) = m', \quad (2)$$

где: ρ – плотность, кг/м³; τ – время, с; x, y, z – координатные оси вдоль длины, ширины и высоты помещения соответственно, м; w_x, w_y, w_z – проекции скорости на соответствующие оси, м/с; m' – источниковый член.

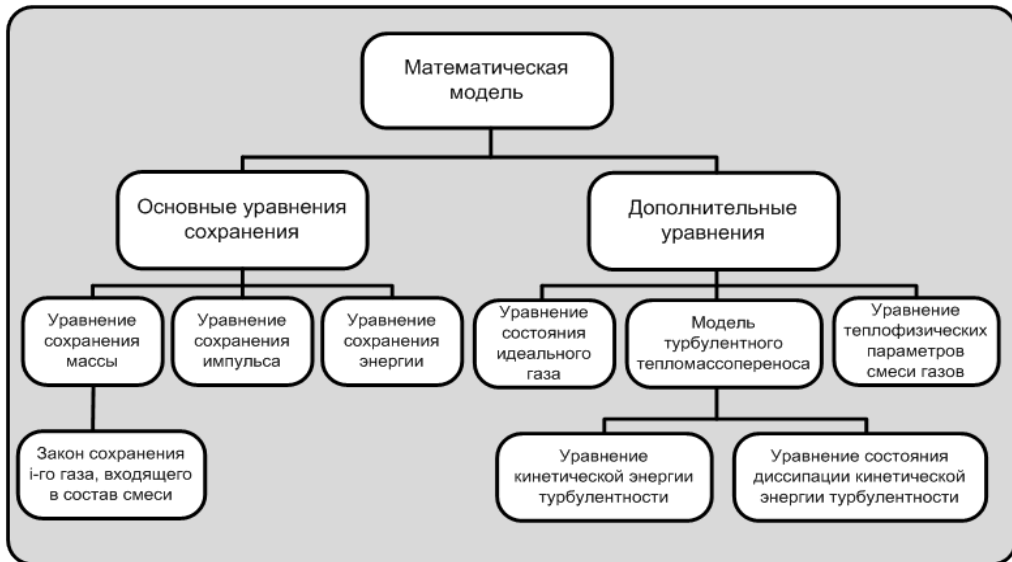


Рисунок 1 — Структура математической модели

В скалярном виде векторное уравнение закона сохранения импульса представляет собой три уравнения (3–5) движения, относительно координатных осей:

$$\begin{aligned}
 & \rho \frac{\partial w_x}{\partial \tau} + \rho w_x \frac{\partial w_x}{\partial x} + \rho w_y \frac{\partial w_x}{\partial y} + \rho w_z \frac{\partial w_x}{\partial z} \\
 & = -\frac{\partial p}{\partial x} + 2 \frac{\partial}{\partial x} \left((\mu + \mu_T) \frac{\partial w_x}{\partial x} \right) \\
 & + \frac{\partial}{\partial y} \left((\mu + \mu_T) \left(\frac{\partial w_x}{\partial y} + \frac{\partial w_y}{\partial x} \right) \right) \\
 & + \frac{\partial}{\partial z} \left((\mu + \mu_T) \left(\frac{\partial w_x}{\partial z} + \frac{\partial w_z}{\partial x} \right) \right) \\
 & - \frac{2}{3} \frac{\partial}{\partial x} \left((\mu + \mu_T) \left(\frac{\partial w_x}{\partial x} + \frac{\partial w_y}{\partial y} + \frac{\partial w_z}{\partial z} \right) \right)
 \end{aligned} \tag{3}$$

$$\begin{aligned}
 & \rho \frac{\partial w_y}{\partial \tau} + \rho w_x \frac{\partial w_y}{\partial x} + \rho w_y \frac{\partial w_y}{\partial y} + \rho w_z \frac{\partial w_y}{\partial z} \\
 & = -\frac{\partial p}{\partial y} + 2 \frac{\partial}{\partial y} \left((\mu + \mu_T) \frac{\partial w_y}{\partial y} \right) \\
 & + \frac{\partial}{\partial x} \left((\mu + \mu_T) \left(\frac{\partial w_x}{\partial y} + \frac{\partial w_y}{\partial x} \right) \right) \\
 & + \frac{\partial}{\partial z} \left((\mu + \mu_T) \left(\frac{\partial w_y}{\partial z} + \frac{\partial w_z}{\partial y} \right) \right) \\
 & - \frac{2}{3} \frac{\partial}{\partial y} \left((\mu + \mu_T) \left(\frac{\partial w_x}{\partial x} + \frac{\partial w_y}{\partial y} + \frac{\partial w_z}{\partial z} \right) \right),
 \end{aligned} \tag{4}$$

$$\begin{aligned}
\rho \frac{\partial w_z}{\partial \tau} + \rho w_x \frac{\partial w_z}{\partial x} + \rho w_y \frac{\partial w_z}{\partial y} + \rho w_z \frac{\partial w_z}{\partial z} = \\
= -\frac{\partial p}{\partial z} + 2 \frac{\partial}{\partial z} \left((\mu + \mu_T) \frac{\partial w_z}{\partial z} \right) \\
+ \frac{\partial}{\partial x} \left((\mu + \mu_T) \left(\frac{\partial w_x}{\partial z} + \frac{\partial w_z}{\partial x} \right) \right) \\
+ \frac{\partial}{\partial y} \left((\mu + \mu_T) \left(\frac{\partial w_y}{\partial z} + \frac{\partial w_z}{\partial y} \right) \right) \\
- \frac{2}{3} \frac{\partial}{\partial z} \left((\mu + \mu_T) \left(\frac{\partial w_x}{\partial x} + \frac{\partial w_y}{\partial y} + \frac{\partial w_z}{\partial z} \right) \right),
\end{aligned} \tag{5}$$

где: μ – динамический коэффициент вязкости, кг/(м·с); μ_T – коэффициент турбулентной вязкости, кг/(м·с); p – давление, Па; ρ – плотность газовой среды, кг/м³; g – ускорение свободного падения, м/с².

Уравнения 2 – 5, уравнения Рейнольдса, получены из уравнений Навье-Стокса путем осреднения по времени всех параметров.

Уравнение энергии является математическим выражением закона сохранения и превращения энергии. Для тепловых процессов, проходящих в производственных помещениях обувных предприятий, этот закон выражается в виде первого начала термодинамики и имеет следующий вид:

$$\begin{aligned}
\rho c_p \left(\frac{\partial T}{\partial \tau} + w_x \frac{\partial T}{\partial x} + w_y \frac{\partial T}{\partial y} + w_z \frac{\partial T}{\partial z} \right) = \\
= \frac{\partial}{\partial x} \left((\lambda + \lambda_T + \lambda_p) \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left((\lambda + \lambda_T + \lambda_p) \frac{\partial T}{\partial y} \right) \\
+ \frac{\partial}{\partial z} \left((\lambda + \lambda_T + \lambda_p) \frac{\partial T}{\partial z} \right) + q_v,
\end{aligned} \tag{6}$$

где: T – температура, К; c_p – удельная теплоемкость при постоянном давлении, Дж/(кг·К); λ – коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К); λ_T – коэффициент турбулентной теплопроводности, Вт/(м·К); λ_p – коэффициент радиационной теплопроводности, Вт/(м·К); q_v – интенсивность внутренних источников тепла, Вт/м³.

$$q_v = q_{вк} + q_{вл}, \tag{7}$$

где: $q_{вл}$ – интенсивность внутренних источников тепла за счет радиационного (лучистого) теплопереноса, Вт/м³; $q_{вк}$ – интенсивность внутренних источников тепла из-за конвективного теплообмена, Вт/м³.

Закон сохранения массы i -го газа, входящего в состав смеси, (уравнение неразрывности для компонента газовой смеси) имеет вид:

$$\begin{aligned}
\rho \frac{\partial X_i}{\partial \tau} + \rho w_x \frac{\partial X_i}{\partial x} + \rho w_y \frac{\partial X_i}{\partial y} + \rho w_z \frac{\partial X_i}{\partial z} = \\
= \frac{\partial}{\partial x} \left(\rho (D_i + D_T) \frac{\partial X_i}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\rho (D_i + D_T) \frac{\partial X_i}{\partial y} \right) \\
+ \frac{\partial}{\partial z} \left(\rho (D_i + D_T) \frac{\partial X_i}{\partial z} \right) + m_i
\end{aligned} \quad (8)$$

где: X_i – массовая концентрация i -го газа, кг/кг; D_i – коэффициент диффузии i -го газа, м²/с; D_T – коэффициент турбулентной диффузии, м²/с; m_i – интенсивность внутренних источников (стоков) массы, возникающих из-за образования (исчезновения) молекул данного газа вследствие выделения вредных веществ от технологического оборудования (или при проведении технологических операций).

Величины m_i определяются с учетом данных об оборудовании, применяемых основных и вспомогательных материалах и т. д.

Таким образом, решаются нестационарные трехмерные дифференциальные уравнения в частных производных законов сохранения массы, импульса и энергии для газовой среды помещения и уравнения сохранения массы для компонентов газовой среды. Все дифференциальные уравнения приведены к виду, удобному для численного решения:

$$\frac{\partial}{\partial \tau} (\rho \Phi) + \text{div}(\rho w \Phi) = \text{div}(\Gamma \text{grad} \Phi) + S, \quad (9)$$

где: Φ – зависимая переменная (энтальпии газовой смеси и материала стен и перекрытия, проекции скорости на координатные оси, концентрации компонентов газовой смеси, кинетическая энергия турбулентности и скорость ее диссипации, массовая концентрация и оптическая плотность дыма); Γ – коэффициент диффузии для Φ ; S – источниковый член для Φ .

Для замыкания основную систему уравнений необходимо дополнить уравнениями, описывающими процессы турбулентного переноса.

Для решения система основных и дополнительных уравнений тепломассопереноса дополняется начальными и граничными условиями.

Моделирование процессов в вычислительной гидродинамике, как правило, состоит из трех основных этапов, к которым все чаще добавляют еще один, четвертый:

1. Pre-processing (создание модели и импорт для дальнейшей обработки, создание расчетной сетки);
2. Solver или сам Processing (задаются граничные условия, запуск решателя);
3. Post-processing (анализ и обработка результатов расчетов, визуализация результатов в виде графиков, изображений или анимации);
4. Optimization (оптимизация).

Для расчета динамики параметров микроклимата и качества воздуха в производственных цехах обувных предприятий использованы два комплекса программ:

- программы FDS-SMV (Fire Dynamics Simulator).
- программы Salome-OpenFOAM-ParaView.

Использование свободного программного обеспечения характеризуется сочетанием минимальных материальных затрат с реализацией современных возможностей математического моделирования. Моделирование с помощью использованного программного обеспечения позволило получить полную картину динамики изменения параметров микроклимата и качества воздуха, определить локальные зоны с параметрами, не соответствующими нормативным требованиям (температура, концентрации загрязняющих веществ) в любой пространственной точке помещения, что принципиально невозможно сделать при инструментальном контроле.

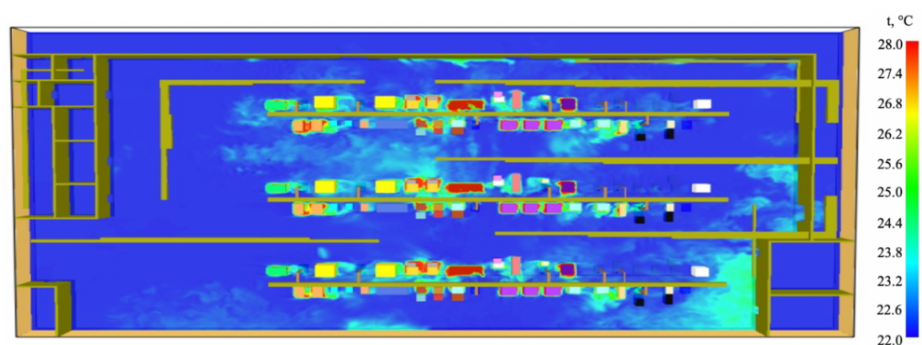
В четвертой главе представлено моделирование динамики изменения параметров микроклимата и качества воздушной среды производственных помещений обувных предприятий.

На основе численного расчета тепломассопереноса получены подробные поля концентраций загрязняющих веществ в воздухе рабочей зоны, а также температур и скоростей движения воздуха на рабочих местах при выполнении технологических операций. Пример результатов расчета приведен на рисунке 2.

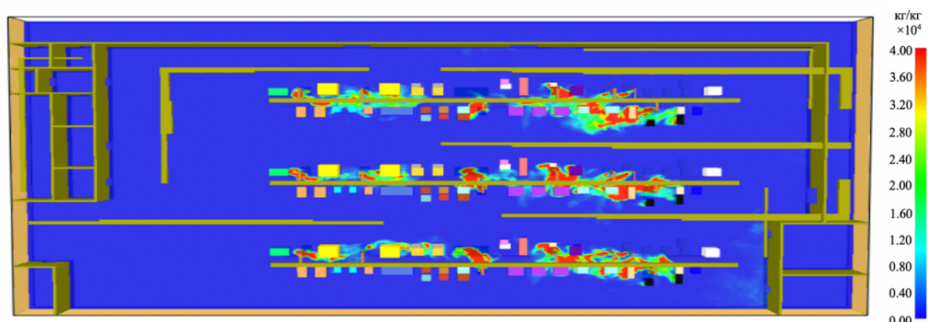
На основе проведенных расчетов исследована динамика изменения параметров микроклимата и качества воздуха рабочей зоны на рабочих местах в цехе сборки обуви и в раскройно-вырубочном цехе на различных высотах от пола цеха.

В результате численного расчета с использованием разработанной математической модели тепломассопереноса в цехе сборки обуви определены технологические операции с повышенным выделением тепла (рисунок 2, а) и загрязняющих веществ на рабочих местах (рисунок 2, б), для которых в дальнейшем проведено более подробное исследование. Разработаны мероприятия по снижению негативного влияния на качество воздуха рабочей зоны производственных цехов обувных предприятий.

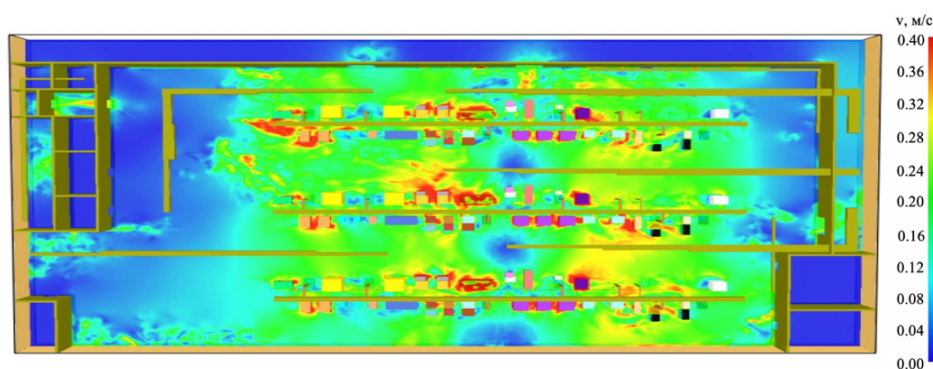
Для более детальной оценки параметров микроклимата и состояния воздуха рабочей зоны в цехе сборки обуви подробно рассмотрены и разработаны модели для рабочих мест на технологических операциях с повышенным выделением тепла и загрязняющих веществ.



а)



б)



в)

Рисунок 2 — Результаты численного расчета тепломассопереноса в цехе сборки обуви: а) динамика изменения температуры, выделяющейся от оборудования; б) динамика изменения концентраций ацетона и этилацетата в воздухе рабочей зоны; в) подвижность воздуха, создаваемая системами общеобменной и местной вентиляции.

Пример результатов расчета по разработанной модели с инженерно-техническими мероприятиями по снижению негативного воздействия представлен на рисунке 3.

Из рисунка 3 хорошо видно, что в результате внедрения разработанных мероприятий при выполнении технологической операции обеспечивается нормализация температуры в зоне работы оператора, что создает предпосылки повышения его производительности.

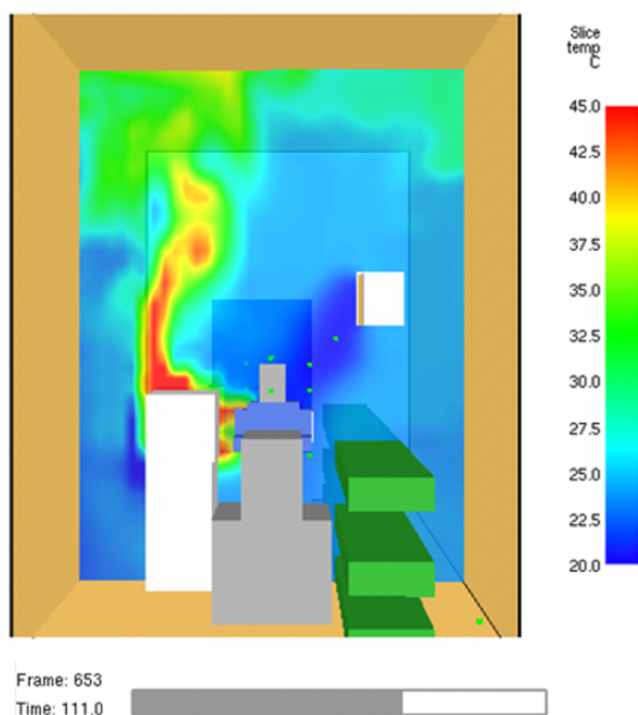


Рисунок 3 — Модель рабочего места операции «Оглаживания затянутых заготовок верха горячим воздухом» с установленной системой воздушного душирования

Одним из относительно новых показателей оценки эффективности системы вентиляции служит локальный средний «возраст» воздуха, характеризующий средний срок пребывания воздуха в рассматриваемой зоне, в течение которого в нем накапливались загрязняющие вещества.

На сегодняшний день отсутствуют расчетные методики по оценке и прогнозированию параметров качества воздушной среды, а именно определению локального среднего «возраста» воздуха в производственных помещениях, как одного из

факторов, характеризующих эффективность функционирования системы вентиляции. Экспериментальные методы определения локального среднего «возраста» воздуха имеет недостаток, связанный с невозможностью его применения на этапе проектирования. На этапе проектирования целесообразно использовать методы математического моделирования. На рисунке 4 представлены результаты моделирования динамики изменения среднего времени пребывания воздуха в конкретных точках помещения в различные моменты времени в рамках единого подхода к моделированию, используемого в данном исследовании.

Визуализация результатов расчетов, представленная на рисунке 4, позволяет наглядно определить зоны, в которых воздух внутри помещения находится длительное время, в течение которого в нем накапливаются загрязняющие вещества. Причем можно оценить время, в течение которого приток свежего воздуха извне достигает определенной точки внутри помещения, а также когда воздух (с загрязнениями) покидает помещение.

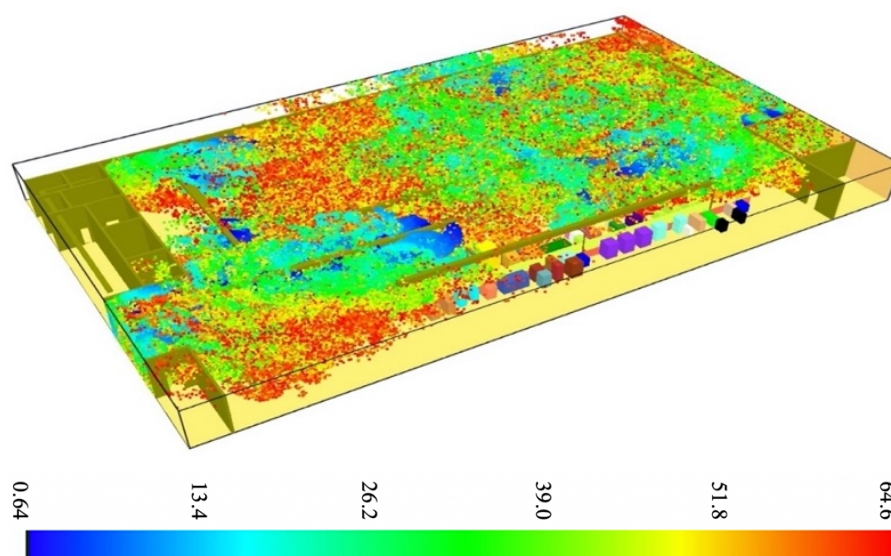


Рисунок 4 — Расчет локального среднего «возраста» воздуха, сек

Проведен анализ результатов натуральных измерений физических факторов производственной среды, характеризующих состояние параметров микроклимата, а также качества воздуха (запыленности и загазованности).

Проведена оценка погрешности инструментальных измерений параметров микроклимата и качества воздушной среды. Отмечена хорошая согласованность результатов расчетов и натуральных измерений.

Для оценки применимости разработанных подходов к оценке и моделированию параметров воздуха рабочей зоны проведено исследование предприятий других отраслей промышленности, имеющих отличные от рассмотренных ранее планировочные решения цехов.

В качестве одного из таких объектов выбран цех по производству пищевых фосфатов предприятия химической промышленности. Характерной особенностью цеха является многоуровневое размещение оборудования. В качестве другого объекта для апробации методики выбрано помещение физико-химической лаборатории контроля качества, состоящей из пяти отдельных помещений, расположенных на одном этаже и соединенных между собой.

Разработанная модель позволила изучить условия вертикального тепло- и массопереноса в помещении с многоуровневой организацией технологических процессов. Результаты моделирования вертикальной динамики полей скорости воздуха представлены на рисунке 5.

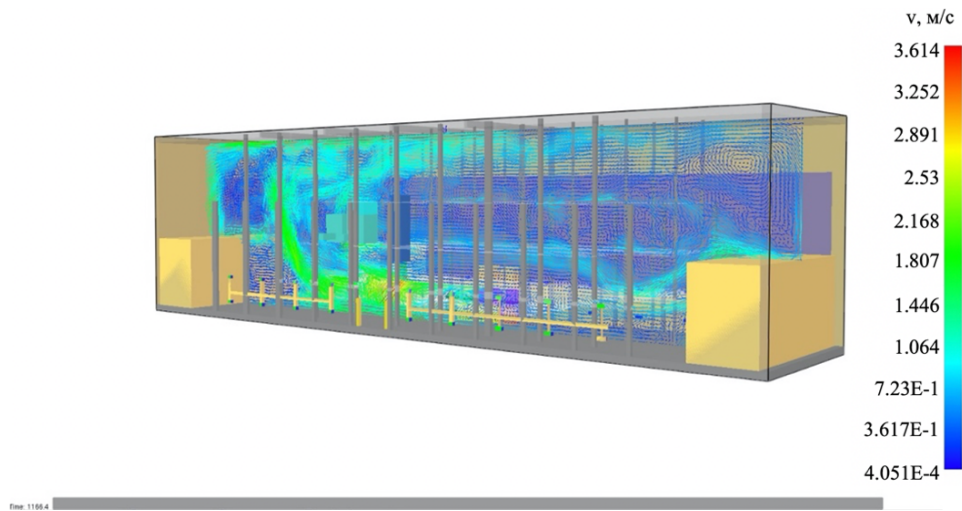


Рисунок 5 — Векторное поле скоростей воздуха (вертикальный разрез)

Проведенные исследования показали возможность использования предложенных подходов к оценке и прогнозированию воздействия технологических процессов на производственный персонал обувных предприятий для предприятий других отраслей промышленности, существенно отличающихся от обувных как по характеру технологических процессов, так и по архитектурно-планировочной организации помещений.

В пятой главе рассмотрены вопросы моделирования влияния обувного предприятия на окружающую среду.

Отмечено, что образующиеся в технологическом процессе загрязняющие вещества попадают в атмосферный воздух посредством систем организованного (системы вентиляции) и неорганизованного (неплотности ограждающих конструкциях) воздухообмена практически в неизменном объеме, за исключением случаев использования специальных систем газоочистки.

На рисунке 6 показана схема связи источников выделения загрязняющих веществ и источников их выбросов в атмосферу.

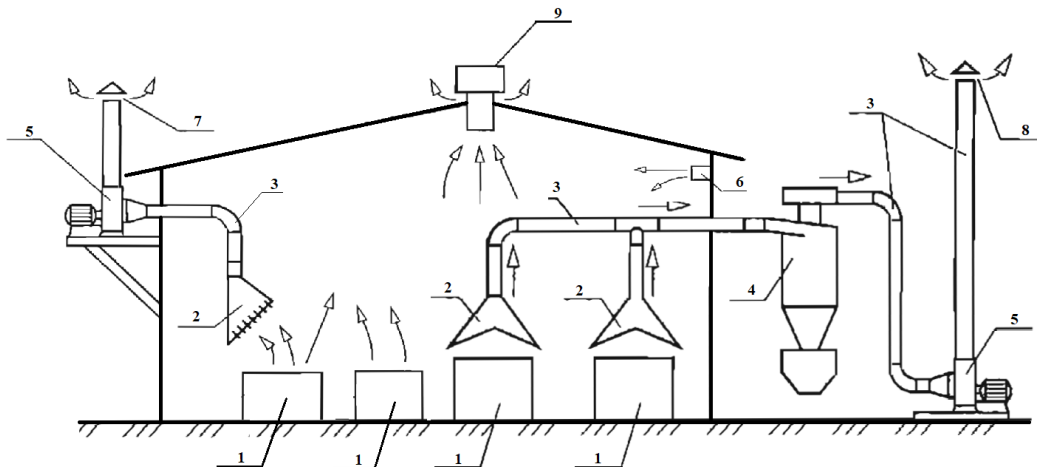


Рисунок 6 — Схема связи источников выделения и источники выбросов загрязняющих веществ (источников загрязнения атмосферного воздуха — ИЗАВ)

На рисунке 6 приняты следующие обозначения: 1 — источники выделения загрязняющих веществ; 2 — местные отсосы; 3 — воздуховоды (газоходы); 4 — устройства пылегазоочистки; 5 — вентиляционный аппарат; 6 — воздухораспределитель приточной системы вентиляции; 7 — источник выбросов загрязняющих веществ в атмосферу (выпуск пылегазовоздушной смеси в атмосферу местной вентиляцией, необорудованной средствами пылегазоочистки); 8 — источник выбросов загрязняющих веществ в атмосферу (выпуск пылегазовоздушной смеси в атмосферу местной вентиляцией, оборудованной средствами пылегазоочистки; 9 - источник выбросов загрязняющих веществ в атмосферу (выпуск пылегазовоздушной смеси в атмосферу общеобменной вентиляцией).

Проведен анализ и визуализация процесса пылеулавливания в циклоне типа ЦН-15, оснащенный кубическим бункером для сбора уловленной пыли. Визуализация движения пыли по конической части циклона представлена на рисунке 7.

Проведенное исследование показало, что можно осуществить полный цикл моделирования процессов пылеулавливания в сухих гравитационных и инерционных пылеуловителях исключительно с использованием свободного программного обеспечения, в рамках единого подхода, как и все моделирование в данной работе.

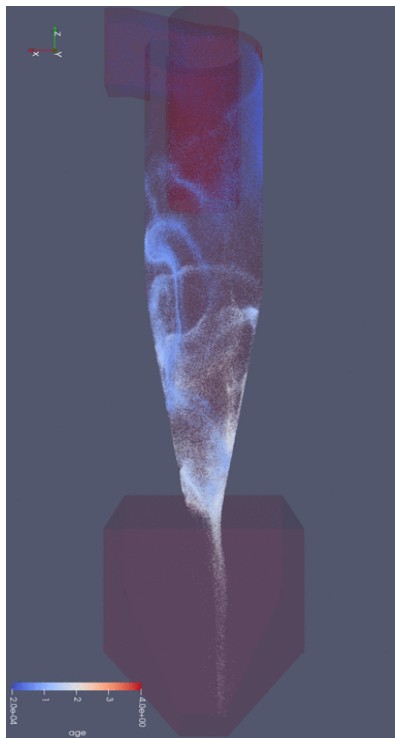


Рисунок 7 — Движение пыли по конической части циклона типа ЦН-15 с бункером.

В качестве примера распространения загрязняющих веществ рассмотрены выбросы ацетона из отдельно стоящего источника выбросов высотой 5 метров, расположенного в непосредственной близости от здания высотой 8 метров.

На рисунке 8 представлены поля расчетных концентраций и визуализация области распространения (факела выброса) ацетона.

В результате расчетов с использованием модели городского квартала получены характеристики ветрового режима внутри городского квартала, визуализация которых представлена на рисунке 9.

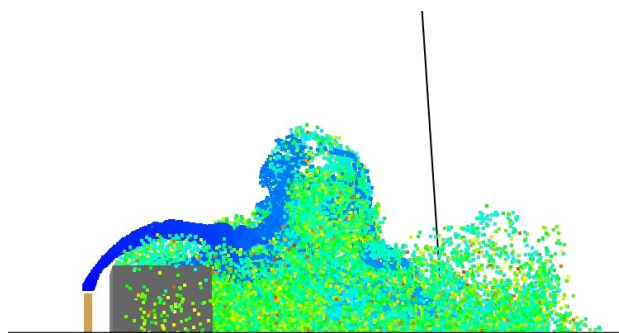


Рисунок 8 — Визуализация области распространения (факела выброса) ацетона

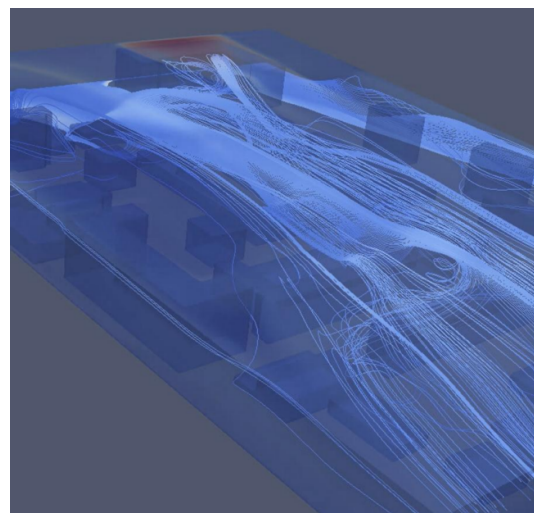


Рисунок 9 — Линии тока внутри городского квартала при северном направлении ветра

В рамках единого подхода с использованием вычислительной гидродинамики проведено моделирование негативного воздействия технологических процессов обувных предприятий начиная от уровня отдельной технологической операции и отдельных цехов и заканчивая оценкой воздействия на территорию предприятия в целом и близ расположенную территорию города или окружающей среды.

В шестой главе представлена разработанная методика интегральной оценки негативного влияния обувного предприятия на окружающую среду

Автором предлагается принципиально новый метод оценки, базирующийся на показателе относительной опасности вещества. Основным смысл данного критерия, если рассматривать его размерность – $\text{м}^3/\text{мг}$, может быть охарактеризован, учитывая принципы установления ПДК, как необходимое количество «чистого» ресурса (воздуха, воды) для разбавления 1 мг вещества до безопасного состояния. Введя понятие «условно чистого ресурса (воздуха, воды)», то есть такого ресурса, в котором концентрация загрязняющего вещества равняется 1 ПДК, можно установить единый базовый норматив платы за выбросы (сбросы) загрязняющих веществ – стоимость 1 м^3 «условно чистого ресурса (воздуха, воды)». Определение стоимости 1 м^3 «условно чистого ресурса может основываться на одном из первых трех подходов. Влияние предприятия на окружающую среду можно будет оценивать таким параметром как «необходимый годовой объем условно «чистого» ресурса $V_{\text{учрес}}$:

- $V_{\text{учатм}}$ — необходимый годовой объем условно «чистого» воздуха;
- $V_{\text{учвод}}$ — необходимый годовой объем условно «чистой» воды,

которые можно рассчитать, например, для воздуха по формуле:

$$V_{\text{уч}_{\text{атм}}} = 10^9 \sum_{i=1}^n \frac{M_{i_{\text{атм}}}}{\text{ПДК}_i}, \quad (10)$$

где: $M_{i_{\text{атм}}}$ — фактический валовый выброс i -го загрязняющего вещества (т/год);
 ПДК $_i$ — предельно-допустимая концентрация i -го загрязняющего вещества, мг/м³; 10^9 — коэффициент перевода тонн в миллиграммы.

Предлагаемый подход позволяет, на основе существующей системы экологического нормирования, значительно упростить систему экологических платежей, сохраняя ее базовые принципы и повышающие коэффициенты.

При необходимости предлагаемый подход легко применим для учета региональных особенностей, таких как фоновое загрязнение атмосферного воздуха, наличие особо охраняемых территорий или зон отдыха и др.:

$$V_{\text{уч}_{\text{атм}}} = 10^9 \sum_{i=1}^n \frac{M_{i_{\text{атм}}}}{(\text{ПДК}_i - C_{\phi_i})}, \quad (11)$$

где: C_{ϕ_i} — фоновая концентрация i -го загрязняющего вещества в окружающей среде.

$$V_{\text{уч}_{\text{атм}}} = 10^9 \sum_{i=1}^n \frac{M_{i_{\text{атм}}}}{(0,8 \cdot \text{ПДК}_i)}, \quad (12)$$

где 0,8 — коэффициент, в соответствии с СанПиН 1.2.3685-21.

Новый критерий может являться основой для выбора наилучших доступных технологий (НДТ) и использоваться как параметр определения углеродного следа.

По результатам выполненных исследований сформулированы рекомендации и **перспективы дальнейшей разработки темы**, которые сводятся к следующему.

Тысячи компаний по всему миру внедряют в свой бизнес подход, основанный на принципе «цифрового двойника».

Цифровой двойник производства представляет собой детальное моделирование конфигураций физических сущностей и динамическое моделирование изменений продукции, процесса и ресурсов в процессе производства. Цифровой двойник производства основан на цифровой модели, которая постоянно обновляется и изменяется по мере изменения физического аналога с целью синхронного представления состояния, условий работы, конфигурации продукта и состояния ресурсов.

В настоящее время ведутся активные работы по созданию цифровых двойников следующего поколения — умных цифровых двойников (*Smart Digital Twin*), объединяющих цифровых двойников изделия (продукта) и цифровых двойников производства в рамках единой цифровой модели. Еще одним интересным моментом развития технологии цифровых двойников является

формирование «умной» цифровой тени (*Smart Digital Shadow*), которое происходит на основе информации о функционировании конкретных образцов изделия.

Таким образом цифровой двойник — это виртуальная копия физического продукта, процесса или экосистемы для создания имитаций, которые можно обновлять и менять благодаря данным реального мира, и отражать любые действия, происходящие с физическим объектом.

Приведенное выше позволяет заключить, что представленные в работе технологии имитационного моделирования могут составить основу создания цифровых двойников практически любого уровня абстракции (станок, технологическая операция, производственный участок, цех, предприятие и т.д.) для предприятий по производству обуви, а научно-обоснованные методы оценки и моделирования воздействия технологических процессов на производственный персонал и окружающую среду — явиться базой для создания еще одного вида цифровых двойников — цифровых двойников среды (или окружения) (*Digital Twin of the Environment – DToE*).

В процессе функционирования цифровых двойников среды (или окружения) (*DToE*) и получения данных о состоянии и влиянии среды произойдет формирование «умных» цифровых двойников среды (или окружения) (*Smart DToE* или *SDToF*), которые позволят повышать качество среды в плане обеспечения безопасности на всех уровнях (рабочая зона, предприятие, селитебная территория, окружающая среда) за счет модернизации устройств, минимизирующих опасные выбросы, а также технологических процессов как их источников, например, с использованием интенсивных аддитивных технологий — динамично развивающегося сегодня направления «цифрового производства».

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

1. Предложены научно-практические основы разработки методов комплексной оценки и моделирования воздействия технологических процессов обувных предприятий на производственный персонал и окружающую среду.

2. Изучены и обобщены современные санитарно-гигиенические и технологические требования к качеству воздуха рабочей зоны и атмосферного воздуха.

3. Система «Промышленное предприятие – Персонал (человек) – Окружающая среда» рассмотрена с точки зрения движения в ней потоков вещества, энергии и информации. Показано, что негативное воздействие на объект (производственный персонал; окружающая среда) зависит от технологий и оборудования, которые применяются на предприятии, а также сырья и материалов, используемых в производстве, и режима работы оборудования.

4. Проведен анализ условий труда на предприятиях по производству обуви. Отмечено, что особое внимание необходимо уделить анализу опасных и вредных факторов отдельных технологических операций и организации условий труда на предприятии.

5. По результатам анализа методов расчета параметров микроклимата и качества воздушной среды производственных помещений обувных предприятий выявлено, что в последнее время наблюдается стремительный рост количества научной литературы по применению вычислительной гидродинамики в исследованиях вентиляции и воздухообмена в помещении.

6. Дана общая характеристика технологического процесса производства обуви как источника загрязнения воздушной среды, характеристики отдельных технологических операций, сопровождающихся выделением тепла, твердых и газообразных загрязняющих веществ, а также операций с паровыделениями.

7. Предложен новый метод расчета удельных показателей пылевыведений в зависимости от вида технологической операции, используемого оборудования, технологических нормативов ее выполнения и характеристик обрабатываемого материала.

8. На основе проведенных исследований характеристик технологического процесса производства обуви определены начальные и граничные условия для комплексной математической модели оценки негативного воздействия технологических процессов обувных предприятий на производственный персонал и окружающую среду.

9. Разработана математическая модель тепломассопереноса в производственных цехах обувных предприятий, состоящая из системы основных дифференциальных уравнений (законов сохранения массы, импульса и энергии) и дополнительных уравнений, необходимых для ее замыкания.

10. Разработан программно-реализованный с использованием свободного программного обеспечения алгоритм расчета теплопереноса и распространения вредных веществ в производственных цехах обувных предприятий. Определены основные этапы моделирования.

11. Моделирование с использованием программ с открытым исходным кодом позволило получить полную картину динамики изменения параметров микроклимата и качества воздуха, определить локальные зоны с параметрами, не соответствующими нормативным требованиям (температура, концентрации загрязняющих веществ) в любой пространственной точке помещения, что принципиально невозможно при инструментальном контроле.

12. Показано, что возможно моделирование процессов пылеулавливания в сухих гравитационных и инерционных пылеуловителях исключительно с использованием свободного программного обеспечения, в рамках единого подхода, как и все моделирование в данном исследовании, так как образующиеся в технологическом процессе загрязняющие вещества попадают в атмосферный воздух посредством систем организованного (системы вентиляции) и неорганизованного (неплотности ограждающих конструкций) воздухообмена практически в неизменном объеме, за исключением случаев использования специальных систем газоочистки.

13. Показано, что существующие методы расчета рассеивания загрязняющих веществ в приземном слое атмосферы не позволяют в полной мере учесть влияние особенностей рельефа местности и характера городской застройки, что особенно актуально для предприятий легкой промышленности, относящихся, как правило, к 4 и 5 классу и имеющих размер ориентировочной СЗЗ 100 и 50 метров соответственно, и расположенных в зонах плотной застройки или в непосредственной близости от них.

14. Разработана математическая модель тепломассопереноса в приземном слое атмосферы, состоящая из системы основных дифференциальных уравнений и дополнительных уравнений, необходимых для ее замыкания. Проведены расчеты рассеивания загрязняющих веществ в приземном слое атмосферы в районе размещения обувного предприятия и анализ их результатов.

15. С использованием методов вычислительной гидродинамики выполнено моделирование негативного воздействия технологических процессов обувных предприятий начиная от уровня отдельной технологической операции и отдельных цехов и заканчивая оценкой воздействия на территорию предприятия в целом и близ расположенную территорию города или окружающую среду. В рамках этого же подхода реализовано моделирование технологических аппаратов–пылегазоуловителей.

16. Разработана новая комплексная многомасштабная математическая модель нестационарного тепломассопереноса для оценки воздействия технологических процессов производства обуви как на производственный персонал, так и окружающую среду, включающая в себя математические модели процессов тепломассопереноса на уровне технологической операции, производственного участка, цеха, предприятия в целом и в окружающей предприятие среде, которые учитывают тепловыделения от человека и оборудования, мощность работы систем общеобменной и местной вентиляции, используемые в производственном процессе основные и вспомогательные материалы, а также рельеф местности и характер застройки близлежащей территории.

17. На основе разработанной комплексной математической модели выполнен расчет локального времени пребывания воздуха в любой точке помещения, позволяющий оценить эффективность работы системы вентиляции на любой стадии жизненного цикла промышленного здания.

18. Реализован новый подход к оценке состояния воздуха рабочей зоны, обеспечивший переход от фактически «однозонной» модели оценки качества воздушной среды производственного помещения к «пространственной» модели, позволяющей определить параметры воздушной среды в любой конкретной точке производственного помещения.

19. Разработаны и запатентованы:

- устройство сбора данных о параметрах окружающей среды
- измерительный блок параметров окружающей среды
- утилизатор тепла с кипящим слоем инертной насадки
- два скруббера

Получены:

- свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ «Программная прошивка микропроцессорного устройства модульной мониторинговой системы «ИБПОС»
- авторское свидетельство на изобретение «Сепаратор».

20. По результатам проведенных исследований разработаны мероприятия по снижению негативного влияния на качество воздуха рабочей зоны производственных цехов обувных предприятий, реализация которых выразилась в повышении производительности труда и в экономическом эффекте за счет сокращения периодов временной нетрудоспособности работников.

21. Доказана универсальность разработанных подходов к моделированию по результатам исследования предприятий других отраслей промышленности (цех по производству пищевых фосфатов предприятия химической промышленности с многоуровневым размещением оборудования; физико-

химическая лаборатория контроля качества, состоящая из пяти отдельных помещений, расположенных на одном этаже и соединенных между собой). Использование математического моделирования позволяет уже на стадии проектирования избежать ошибок и гарантирует обеспечение нормативных требований как для помещения в целом, так и для каждого отдельного рабочего места.

22. Предложен новый эколого-экономический критерий оценки негативного воздействия промышленного предприятия на атмосферный воздух, базирующийся на понятии «условно чистого ресурса» (воды, воздуха), который позволит значительно упростить систему экологических платежей, с учетом региональных особенностей, таких как фоновое загрязнение атмосферного воздуха и наличие особо охраняемых территорий или зон отдыха. Критерий может служить основой для выбора наилучших доступных технологий (НДТ) и использоваться как параметр оценки углеродного следа.

23. Сформулированы перспективы дальнейшей разработки темы, которые сводятся к следующему: научно-практические основы разработки методов оценки и моделирования воздействия технологических процессов на производственный персонал и окружающую среду и полученные в диссертации математические модели могут явиться базой для создания не только цифровых двойников практически любого уровня абстракции (станок, технологическая операция, производственный участок, цех, предприятие и т.д.) для предприятий по производству обуви, но и цифровых двойников среды (или окружения) (Digital Twin of the Environment – DToE).

Публикации, отражающие основное содержание диссертации*Стать, индексируемые в международных базах цитирования (Scopus, WoS)*

1. **Sedlyarov, O. I.** Quality of Air Medium of Production Compartments of Enterprises Involved in Production of Chemical Fibers and Methods of Simulation of the Air Medium / O. I. Sedlyarov, A. P. Polieftova, V. Y. Aleinikov. – DOI 10.1007/s10692-020-10104-x // *Fibre Chemistry*. – 2019. – Vol. 51. – № 4. – P. 312–317.

2. Гуторова, Н. В. Алгоритм расчета интегрального показателя степени негативного воздействия промышленных сточных вод на водные объекты / Н. В. Гуторова, **О. И. Седляров** // *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности*. – 2020. – № 2 (386). – С. 184–188.

3. Analytical Study of Nonstationary Modes in Recuperative Heat Exchangers / A. A. Aleksandrov, V. A. Akatev, M. P. Tyurin, **O. I. Sedlyarov** [и др.]. – DOI 10.18698/1812-3368-2020-5-60-71. – Текст : электронный // *Herald of the Bauman Moscow State Technical University. Series Natural Sciences*. – 2020. – Т. 5. – № 5 (92). – С. 60–71.

4. Efficiency of Fire- and Explosion Protection Devices in Production Processes / O. S. Kochetov, M. P. Tyurin, **O. I. Sedlyarov** [et al.]. – DOI 10.1007/s10692-019-10062-z // *Fibre Chemistry*. – 2019. – Vol. 51. – № 2. – P. 153–156.

5. Аналитическое исследование теплообмена при нагреве или охлаждении лимитированного объема жидкости / А. А. Александров, В. А. Акатьев, **О. И. Седляров** [и др.]. – DOI 10.18698/1812-3368-2021-6-17-34 // *Вестник Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана. Серия Естественные науки*. – 2021. – № 6 (99). – С. 17–34.

Статьи в журналах из перечня ВАК при Минобрнауки России

6. Анализ и моделирование состояния воздуха рабочей зоны предприятий текстильной и легкой промышленности / **О. И. Седляров**, В. В. Куранов, В. Ю. Алейников [и др.] // *Дизайн и технологии*. – 2018. – № 66 (108). – С. 98–104.

7. Численное моделирование процессов пылеулавливания в сухих гравитационных и инерционных пылеуловителях с использованием свободного программного обеспечения / **О. И. Седляров**, С. В. Куранова, О. С. Моргун [и др.] // *Дизайн и технологии*. – 2018. – № 67 (109). – С. 81–87.

8. Гуторова, Н. В. Алгоритм расчета интегральной оценки степени загрязнения атмосферы организованными источниками выбросов промышленных предприятий / Н. В. Гуторова, **О. И. Седляров**. – DOI 10.17277/voprosy.2020.01.pp.019-024 // *Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского*. – 2020. – № 1(75). – С. 19–24.

9. Гуторова, Н. В. Негативные факторы воздушной среды на производствах легкой промышленности и их воздействие на работающих / Н. В. Гуторова, Н. С. Тихонова, **О. И. Седяров**. – DOI 10.22363/2313-2310-2019-27-3-199-208 // Вестник российского университета дружбы народов. Серия: экология и безопасность жизнедеятельности. – 2019. – Т. 27. – № 3. – С. 199–208.

10. Предпосылки устойчивого эколого-экономического развития легкой промышленности России / Е. Г. Свищева, В. С. Белгородский, **О. И. Седяров**, А. В. Генералова, // Дизайн и технологии. – 2016. – № 54 (96). – С. 92–98.

11. Халитов, К. А. Применение модуля акустического мониторинга системы «ИБПОС» на предприятиях лёгкой промышленности / К. А. Халитов, **О. И. Седяров** // Дизайн и технологии. – 2015. – № 49 (91). – С. 84-90.

12. Система охлаждения паро-инжекционного типа парогазовой установки / Н. В. Дерюгин, Е. С. Бородина, **О. И. Седяров**, М. П. Тюрин // Дизайн и технологии. – 2020. – № 76 (118). – С. 78–82.

13. Тихонова, Н. С. Быстровозводимые здания из легких конструктивных материалов и их инженерно-техническое обеспечение / Н. С. Тихонова, Г. А. Свищев, **О. И. Седяров** // Дизайн и технологии. – 2014. – № 39 (81). – С. 61–66.

14. Практическая реализация и порядок измерения на многокомпонентной автоматизированной беспроводной системе экологического мониторинга воздуха предприятий лёгкой промышленности / А. В. Ильинская, А. В. Кочеров, **О. И. Седяров**, В. В. Куранов, // Дизайн и технологии. – 2012. – № 28 (70). – С. 96–101.

15. Алгоритм расчёта допустимого содержания загрязняющих веществ в разных средах с учётом синергизма действия поллютантов / **О. И. Седяров**, А. А. Григорьев, А. В. Артемов, Н. В. Гуторова [и др.] // Дизайн и технологии. – 2012. – № 29 (71). – С. 76–78.

16. Кочеров, А. В. Многокомпонентная автоматизированная беспроводная система мониторинга загрязнения воздуха на предприятиях легкой промышленности / А. В. Кочеров, **О. И. Седяров**, А. В. Хилинич // Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности. – 2011. – Т. 11. – № 1. – С. 101–105.

17. Анализ нормативной базы в области нормирования качества воздуха рабочей зоны предприятий по производству обуви / О. И. Богданов, С. П. Подгорная, **О. И. Седяров**, А. Б. Алибеков, // Дизайн и технологии. – 2012. – № 30 (72). – С. 74–81.

18. Современный подход к оценке негативного воздействия выбросов обувных предприятий на атмосферный воздух / А. А. Григорьев, Н. В. Гуторова,

О. И. Седяров, А. В. Артемов, [и др.] // Дизайн и технологии. – 2012. – № 32 (74). – С. 63–68.

19. Богданов, О. И. Моделирование распространения вредных веществ в производственных цехах обувных предприятий / О. И. Богданов, **О. И. Седяров** // Научно-технический вестник Поволжья. – 2012. – № 5. – С. 104–109.

20. Кочеров, А. В. Автоматизированная беспроводная система мониторинга загрязнения воздуха на предприятиях лёгкой промышленности / А. В. Кочеров, **О. И. Седяров**, А. В. Хилинич // Дизайн и технологии. – 2011. – № 22 (64). – С. 76–81.

21. Моделирование теплового воздействия на технологическом потоке сборки обуви / А. В. Пикалёв, Г. А. Свищев, **О. И. Седяров**, В. В. Куранов, // Дизайн и технологии. – 2011. – № 26 (68).

22. Свищев, Г. А. Моделирование теплового комфорта на технологическом потоке сборки обуви / Г. А. Свищев, **О. И. Седяров**, А. В. Пикалёв // Дизайн и технологии. – 2010. – Т. 62. – № 20. – С. 13–20.

23. Гуторова, Н. В. Анализ загрязнения атмосферного воздуха меховыми предприятиями / Н. В. Гуторова, **О. И. Седяров**, А. В. Артемов // Дизайн и технологии. – 2009. – № 14. – С. 88–96.

24. Анализ современного состояния нормативной базы по расчету выделения загрязняющих веществ от технологического оборудования обувных предприятий и нормированию предельно допустимых выбросов / С. П. Подгорная, О. И. Богданов, **О. И. Седяров**, А. Б. Алибеков // Дизайн и технологии. – 2012. – Т. 73. – № 31. – С. 67–73.

25. Гуторова, Н. В. Определение допустимого содержания загрязняющих веществ с учетом их взаимного влияния (на примере выбросов обувного предприятия) / Н. В. Гуторова, А. В. Артемов, **О. И. Седяров** // Дизайн и технологии. – 2011. – Т. 64. – № 22. – С. 61–65.

Патенты, свидетельства

26. Патент № RU 2669175 Российская Федерация, МПК F24F13/00. Утилизатор тепла с кипящим слоем инертной насадки : N 2018101952 : заявл. 18.01.2018 : опубл. 08.10.2018 / **Седяров О. И.** – 3 с. : ил.

27. Патент № RU 2669819 C1 Российская Федерация, МПК B01D 47/06, B05B 1/34. Скруббер : N 2018101953: заявл. 18.01.2018 : опубл. 16.10.2018 / **Седяров О. И.** – 4 с. : ил.

28. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № RU 2015663369 Российская Федерация. Программная прошивка микропроцессорного устройства модульной мониторинговой системы «ИБПОС» : N 2015660001 : заявл. 19.10.2015 : опубл. 16.12.2015 / Халитов К. А.,

Седляров О. И., Белоус Е. А.; заявитель Московский государственный университет дизайна и технологии. – 1 с. : 3,5 кб.

29. Патент № RU 140789 U1 Российская Федерация, МПК G08C 17/02. Устройство сбора данных о параметрах окружающей среды : N 2013151698/08 : заявл. 21.11.2013 : опубл. 20.05.2014 / **Седляров О. И.**, Куранов В. В., Белоус Е. А. – 2 с. : ил.

30. Патент № RU 141212 U1 Российская Федерация, МПК G08C 17/02. Измерительный блок параметров окружающей среды : N 2013151696/08 : заявл. 21.11.2013 : опубл. 27.05.2014 / **Седляров О. И.** – 3 с. : ил.

31. Авторское свидетельство № SU 1428429 A1 СССР, МПК B01D 45/06. Сепаратор: N 4189435 : заявл. 02.02.1987 : опубл. 07.10.1988 / Чугунков В. В., Седышев А. В., **Седляров О. И.** [и др.]; заявитель МВТУ им. Н. Э. Баумана, Предприятие П/Я Г-4213. – 3 с. : ил.

32. Патент № RU 2669820 Российская Федерация, МПК B01D 47/06, B05B 1/34. Скруббер : N 2018102336: заявл. 22.01.2018 : опубл. 16.10.2018 / **Седляров О. И.** – 4 с.

Статьи в материалах конференций и других научных изданиях

33. **Седляров, О. И.** Численное моделирование внутренней аэродинамики и пылеулавливания в сухих гравитационных и инерционных пылеуловителях / О. И. Седляров, В. В. Куранов, О. С. Моргун // Дизайн, технологии и инновации в текстильной и легкой промышленности (ИННОВАЦИИ-2018) : сборник материалов Международной научно-технической конференции / РГУ им. А. Н. Косыгина. – Москва : ФГБОУ ВО «РГУ им. А. Н. Косыгина», 2018. – Т. 3. – С. 122-124.

34. **Седляров, О. И.** Производственные процессы и их влияние на персонал предприятия / О. И. Седляров, Г. А. Свищев, Н. С. Тихонова // Сборник научных статей и воспоминаний «Памяти В.А. Фукина посвящается». – Москва : ФГБОУ ВО «МГУДТ», 2014. – С. 69-73.

35. **Седляров, О. И.** Имитационное моделирование химико-технологического процесса производства моющих средств / О. И. Седляров, Е. В. Отрубьянников, А. П. Полиефтова // Энергоресурсоэффективные экологически безопасные технологии и оборудование : сборник научных трудов Международного научно-технического симпозиума «Вторые международные Косыгинские чтения, приуроченные к 100-летию РГУ имени А. Н. Косыгина» на Международном Косыгинском Форуме-2019 «Современные задачи инженерных наук» / РГУ им. А. Н. Косыгина. – Москва : ФГБОУ ВО «РГУ им. А. Н. Косыгина», 2019. – Т. 2. – С. 233-234.

36. Применение свободного программного обеспечения для моделирования процессов пыли и газоочистки / **О. И. Седляров**, Н. С. Тихонова,

И. Н. Курицин, В. В. Куранов // Актуальные проблемы сушки и термовлажностной обработки материалов в различных отраслях промышленности и агропромышленном комплексе : сборник научных статей Первых Международных Лыковских научных чтений, посвящённых 105-летию академика А.В. Лыкова / Московский государственный университет дизайна и технологии. – Курск : Закрытое акционерное общество «Университетская книга», 2015. – С. 428-433.

37. Методика прогнозной оценки состояния микроклимата в производственных цехах обувных предприятий / **О. И. Седяров**, В. В. Куранов, М. П. Гуськов, О. О. Петрова // Дизайн, технологии и инновации в текстильной и легкой промышленности (ИННОВАЦИИ-2020) : сборник материалов Международной научно-технической конференции / ФГБОУ ВО «РГУ им. А. Н. Косыгина». – Москва : ФГБОУ ВО «РГУ им. А. Н. Косыгина», 2020. – С. 80-83.

38. Алейников, В. Ю. Моделирование состояния воздуха рабочей зоны обувного производства / В. Ю. Алейников, В. В. Костылева, **О. И. Седяров** // Концепции, теория, методики фундаментальных и прикладных научных исследований в области инклюзивного дизайна и технологий : сборник научных трудов по итогам Международной научно-практической заочной конференции. – Москва : ФГБОУ ВО «РГУ им. А. Н. Косыгина», 2020. – С. 164-167.

39. Тихонова, Н. С. Моделирование температурно-влажностного режима отмочно-зольных цехов и сравнение его результатов с экспериментальными / Н. С. Тихонова, Г. А. Свищев, **О. И. Седяров** // Дизайн, технологии и инновации в текстильной и легкой промышленности (ИННОВАЦИИ-2014) : сборник материалов Международной научно-технической конференции / Московский государственный университет дизайна и технологии. – Москва : ФГБОУ ВО «МГУДТ», 2014. – С. 64-65.

40. Кочетов, О. С. Расчет параметров аэродинамического шума вентиляционных систем / О. С. Кочетов, Е. С. Бородина, **О. И. Седяров** // Современные автомобильные материалы и технологии (САМИТ - 2020) : сборник статей XII Международной научно-технической конференции, посвященной 25-летию кафедры технологии материалов и транспорта / Юго-Западный государственный университет. – Курск : Юго-Западный государственный университет, 2020. – С. 215-219.

41. Алейников, В. Ю. О средствах индивидуальной защиты от вредных производственных факторов воздушной среды обувного предприятия / В. Ю. Алейников, В. В. Костылева, **О. И. Седяров** // Наука молодых – будущее России : сборник научных статей 3-й Международной научной конференции перспективных разработок молодых ученых. – Курск : Закрытое акционерное общество «Университетская книга», 2018. – Т. 6. – С. 302-304.

42. Математическое моделирование микроклимата производственных помещений / **О. И. Седяров**, В. В. Куранов, В. Ю. Алейников, О. О. Петрова // Дизайн, технологии и инновации в текстильной и легкой промышленности (ИННОВАЦИИ-2018) : сборник материалов Международной научно-технической конференции / РГУ им А. Н. Косыгина. – Москва : ФГБОУ ВО «РГУ им. А. Н. Косыгина», 2018. – Т. 3. – С. 125-128.

43. Дюбанов, М. В. Моделирование динамики распространения вредных химических веществ в атмосфере в результате техногенной аварии на опасном производственном объекте / М. В. Дюбанов, **О. И. Седяров**, А. В. Артемов // Актуальные научные и научно-технические проблемы обеспечения химической безопасности России: Материалы III российской конференции с международным участием ; под редакцией А.В. Рощина. – Киров : Международный центр научно-исследовательских проектов, 2016. – С. 136.

44. Свищева, Е. Г. Экономика замкнутого цикла в текстильной и легкой промышленности / Е. Г. Свищева, А. В. Генералова, **О. И. Седяров** // Переработка отходов текстильной и легкой промышленности: теория и практика : материалы докладов Международной научно-практической конференции / Витебский государственный технологический университет. – Витебск : Витебский государственный технологический университет, 2016. – С. 89-93.

45. Дюбанов, М. В. Разработка программно-аппаратного комплекса для обеспечения химической безопасности на предприятиях легкой промышленности / М. В. Дюбанов, **О. И. Седяров**, А. В. Артемов // Повышение эффективности процессов и аппаратов в химической и смежных отраслях промышленности : сборник научных трудов Международной научно-технической конференции, посвящённой 105-летию со дня рождения А. Н. Плановского / Московский государственный университет Дизайна и Технологии. – Москва : ФГБОУ ВО «МГУДТ», 2016. – Т. 2. – С. 297-299.

46. Установка для извлечения ртути из люминесцентных ламп / Е. С. Бородина, О. С. Кочетов, **О. И. Седяров** [и др.] // IV международная конференция «Актуальные научные и научно-технические проблемы обеспечения химической безопасности» : материалы конференции / ИХФ им. Н. Н. Семенова РАН. – Москва : ФГБУН Институт химической физики им. Н.Н. Семенова Российской Академии Наук, 2018. – С. 141.

47. Адсорбер для очистки воздуха от паров ртути содержащих веществ / Е. С. Бородина, О. С. Кочетов, **О. И. Седяров** [и др.] // IV международная конференция «Актуальные научные и научно-технические проблемы обеспечения химической безопасности» : материалы конференции / ИХФ им. Н. Н. Семенова РАН. – Москва : ФГБУН Институт химической физики им. Н.Н. Семенова Российской Академии Наук, 2018. – С. 147.

48. Курицин, И. Н. Оценка качества воздуха рабочей зоны при получении модифицированного ПЭТФ-волокна методом крейзинга / И. Н. Курицин, **О. И. Седяров**, Н. В. Гуторова // Повышение эффективности процессов и аппаратов в химической и смежных отраслях промышленности : сборник научных трудов Международной научно-технической конференции, посвящённой 105-летию со дня рождения А. Н. Плановского / Московский государственный университет Дизайна и Технологии. – Москва : ФГБОУ ВО «МГУДТ», 2016. – Т. 2. – С. 305-307.

49. Тихонова, Н. С. Температурно-влажностное состояние воздушной среды при дубильных и красильно-жировальных операциях производства кожи / Н. С. Тихонова, Г. А. Свищев, **О. И. Седяров** // Дизайн, технологии и инновации в текстильной и легкой промышленности (ИННОВАЦИИ-2016) : сборник материалов международной научно-технической конференции / Московский государственный университет дизайна и технологии. – Москва : ФГБОУ ВО «МГУДТ», 2016. – Т. 2. – С. 300-302.

50. Дюбанов, М. В. Система непрерывного управления химической безопасностью на предприятиях легкой промышленности / М. В. Дюбанов, **О. И. Седяров** // Дизайн, технологии и инновации в текстильной и легкой промышленности (ИННОВАЦИИ-2015) : сборник материалов международной научно-технической конференции / Московский государственный университет дизайна и технологии. – Москва : ФГБОУ ВО «МГУДТ», 2015. – Т. 3. – С. 83-85.

51. Тихонова, Н. С. Анализ состояния температурно-влажностного режима производств легкой промышленности и его воздействие на работающих / Н. С. Тихонова, Г. А. Свищев, **О. И. Седяров** // Дизайн, технологии и инновации в текстильной и легкой промышленности (ИННОВАЦИИ-2015) : сборник материалов международной научно-технической конференции / Московский государственный университет дизайна и технологии. – Москва : ФГБОУ ВО «МГУДТ», 2015. – Т. 3. – С. 99-102.

52. **Седяров, О. И.** Эколого-экономический критерий оценки негативного воздействия промышленного предприятия на атмосферный воздух / О. И. Седяров // Технологии и материалы в производстве инновационных потребительских товаров : сборник научных статей к 80 - летию со дня рождения В.А. Фукина. – Москва : ФГБОУ ВО «МГУДТ», 2015. – Т. 1. – С. 118-124.

53. Применение модуля акустического мониторинга системы «ИБПОС» на предприятиях лёгкой промышленности / К. А. Халитов, В. В. Куранов, **О. И. Седяров**, Е. А. Белоус // Технологии и материалы в производстве инновационных потребительских товаров : сборник научных статей к 80 - летию со дня рождения В.А. Фукина. – Москва : ФГБОУ ВО «МГУДТ», 2015. – Т. 1. – С. 146-151.

54. Гуторова, Н. В. Природоохранные особенности технологических процессов на обувных и кожевенных предприятиях Германии / Н. В. Гуторова, Н. Е. Денисов, **О. И. Седяров** // Сборник научных статей и воспоминаний «Памяти В.А. Фукина посвящается». – Москва : ФГБОУ ВО «МГУДТ», 2014. – Т. 2. – С. 105-115.

55. Тихонова, Н. С. Микроклимат отмочно-зольных цехов кожевенного производства и его влияние на условия труда работающих / Н. С. Тихонова, Г. А. Свищев, **О. И. Седяров** // Дизайн, технологии и инновации в текстильной и легкой промышленности (ИННОВАЦИИ-2014) : сборник материалов Международной научно-технической конференции / Московский государственный университет дизайна и технологии. – Москва : ФГБОУ ВО «МГУДТ», 2014. – С. 20-22.

56. Белоус, Е. А. Анализ автоматизированных систем экологического мониторинга предприятий легкой промышленности / Е. А. Белоус, К. А. Халитов, **О. И. Седяров** // Сборник научных статей и воспоминаний «Памяти В.А. Фукина посвящается». – Москва : ФГБОУ ВО «МГУДТ», 2014. – С. 45-49.

57. Седяров, О. И. Методика определения тепlopоступлений в производственных помещениях текстильных предприятий / **О. И. Седяров**, А. Д. Давыдова, О. С. Кочетов // сборник статей Международной научно-практической конференции. – Уфа: Общество с ограниченной ответственностью «ОМЕГА САЙНС», 2021. – С. 66-68.

58. Кочетов, О. С. Двухступенчатая система очистки воздуха / О. С. Кочетов, **О. И. Седяров**, О. С. Моргун // Технические науки на службе созидания и прогресса : сборник статей Международной научно-практической конференции. – Уфа : Общество с ограниченной ответственностью «Аэтерна», 2017. – С. 133-135.

59. Кочетов, О. С. Повышение эффективности процесса пылеулавливания / О. С. Кочетов, **О. И. Седяров**, О. О. Петрова // Интеграционные процессы в науке в современных условиях. сборник : сборник статей Международной научно-практической конференции. – Казань : Общество с ограниченной ответственностью «ОМЕГА САЙНС», 2017. – С. 94-96.

60. **Седяров, О. И.** Адсорбер для очистки выбросов гребнечесального цеха текстильного предприятия / О. И. Седяров, А. Д. Давыдова, О. С. Кочетов // Новые информационные технологии как основа эффективного инновационного развития : сборник статей Международной научно-практической конференции. – Уфа : Общество с ограниченной ответственностью «ОМЕГА САЙНС», 2021. – С. 62-64.

61. Отрубьянников, Е. В. Исследование гидродинамических процессов с помощью имитационной модели на примере аппарата фонтанирующего слоя / Е. В. Отрубьянников, **О. И. Седляров**, А. П. Полиефтова. – DOI 10.37816/2713-0789-2021-1-2-70-80 // Промышленные процессы и технологии. – 2021. – Т. 1. – № 2. – С. 70–80.

62. Алгоритм расчета интегральной оценки степени загрязнения атмосферы / Н. В. Гуторова, А. В. Артемов, **О. И. Седляров** [и др.] . – Москва, 2011. – 8 с. – Зарег. в базе данных (реестре) РАО КОПИРУС 29.07.2011, № 011-001076.

Учебники, учебные пособия

63. Тихонова, Н. С. Основы проектирования предприятий легкой промышленности: Учеб. Пособие / Н. С. Тихонова, Г. А. Свищев, **О. И. Седляров**. – Москва : Вузовский учебник : ИНФРА-М, 2017. – 224 с. – ISBN 978-5-9558-0375-3.

64. Любская, О. Г. Экологическая безопасность на предприятиях легкой промышленности : учеб. пособие / О. Г. Любская, Г. А. Свищев, **О. И. Седляров**. — М. : ИНФРА-М, 2018. — 158 с. — (Высшее образование: Бакалавриат). — www.dx.doi.org/10.12737/17509. - ISBN 978-5-16-010684-7.

65. Безопасность жизнедеятельности в легкой промышленности : Учебник для студентов высших учебных заведений / Кравец В. А., Меркулов А. А., Свищев А. Г., **Седляров О. И.** – Москва : Academia, 2006. – 432 с. – ISBN 5-7695-2183-Хф

СЕДЛЯРОВ ОЛЕГ ИВАНОВИЧ

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАЗРАБОТКИ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ И
МОДЕЛИРОВАНИЯ ВОЗДЕЙСТВИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ
ОБУВНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ НА ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ПЕРСОНАЛ
И ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

Усл.-печ. п.л. Тираж 100 экз. Заказ №

Редакционно-издательский отдел
ФГБОУ ВО «РГУ им. А.Н. Косыгина»

Отпечатано в РИО ФГБОУ ВО «РГУ им. А.Н. Косыгина»