

На правах рукописи



Коринтели Анна Михайловна

**ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ПРОЦЕССОВ
ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕРМОЗАЩИТНОЙ ОДЕЖДЫ
ДЛЯ ПОДВОДНОЙ СВАРКИ**

Специальность 2.6.16. «Технология производства изделий
текстильной и легкой промышленности»

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Шахты – 2023

Работа выполнена в Институте сферы обслуживания и предпринимательства (филиале) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования “Донской государственной технической университет” в г. Шахты Ростовской области (ИСОиП (филиал) ДГТУ в г.Шахты) на кафедре “Конструирование, технологии и дизайн”.

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор кафедры «Конструирование, технологии и дизайн» Института сферы обслуживания и предпринимательства (филиала) ФГБОУ ВО “Донской государственной технической университет” в г. Шахты Ростовской области
Черунова Ирина Викторовна

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой «Конструирование и технологии изделий лёгкой промышленности» ФГАОУ ВО «Омский государственный технический университет», г. Омск
Чижик Маргарита Анатольевна

кандидат технических наук, доцент кафедры дизайна и индустрии моды ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», г.Курск
Добровольская Татьяна Александровна

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

Защита состоится «22» декабря 2023 г. в 10.00 ч. на заседании диссертационного совета 24.2.368.02, 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, дом 1, зал заседаний ученого совета.

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

Автореферат разослан «15» ноября 2023 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета 24.2.368.02



Мезенцева Т.В.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Подводно-технические сварочные работы занимают значительное место в промышленности, во многих ремонтных или монтажных процессах с металлическими конструкциями и деталями, находящимися ниже ватерлинии. Это особый вид работ, который требует сложной комплексной квалификации специалиста. С одной стороны, подводная сварка требует применения специального оборудования и характеризуется общими условиями водолазных работ. С другой стороны, такие работы требуют непосредственного сварочного дела под водой. Однако, согласно данным, Росстат, в Общероссийском классификаторе занятий отсутствует профессиональная группа «Подводные сварщики», хотя численность работников в обобщенной профессиональной группе, куда отнесены сотрудники со схожими должностными обязанностями по выполнению работ под водой, только в Российской Федерации уже составила 184,7 тыс. человек и будет расти. Это связано с тем, что объем выполняемых подводно-сварочных работ и интерес к исследованиям в этой области стремительно увеличивается как в России, так и в других странах, обостряя внимание к вредным условиям труда для такой сложной и опасной профессии. По данным Федеральной службы государственной статистики доля работников, занятых во вредных условиях труда, составляет более 35%, а данные Центра по контролю и профилактике заболеваний показывают, что подводные сварщики гибнут в 40 раз чаще, чем в среднем на других работах. Учитывая, что обеспечение приоритета жизни, здоровья и технологий их обеспечения для людей на производстве является первоочередным направлением государственной политики России в области охраны труда, данная ситуация обостряет актуальность задач по созданию эффективных средств индивидуальной защиты (СИЗ), среди которых спецодежда играет основную роль. Однако, анализ номенклатуры существующих видов спецодежды по принадлежности к различным профессиям показал, что, как и самой отдельной профессии, спецодежды для подводных сварщиков, регламентированной соответствующими стандартами, которые определяют ее параметры и свойства, не существует. В настоящее время специалисты-сварщики используют гидрокостюмы для общих водолазных работ, не учитывающие условия труда с подводной дуговой сваркой (образование и распространение брызг и искр расплавленного металла в воде, начальная температура которых может достигать до 2600 °С), когда даже в воде наблюдается системный риск термических ожогов человека и соответствующие термомеханические повреждения применяемых гидрокостюмов. Анализ опыта применения подводными сварщиками защитных швейных изделий под водой показал, что в качестве дополнительного защитного внешнего слоя, чтобы спасти основную универсальную гидроодежду и собственное тело от термических разрушений и ожогов, используются «одноразовые» комбинезоны или костюмы поверх основного гидрокостюма, выполненные из универсальных тканей для спецодежды и не предназначенные для подводной эксплуатации, что является недопустимым и требует поиска и создания новых видов специализированной для данной профессии защитной одежды и СИЗ, снижающих перечисленные риски и обеспечивающие подводных сварщиков достаточными для безопасного труда и сохранения одежды термозащитными свойствами. Для решения обозначенных проблем требуется разработка новых научно-

обоснованных процессов проектирования специализированной термозащитной одежды для подводной сварки.

Степень научной разработанности проблемы. Существенный вклад в решение проблем развития и совершенствования процессов проектирования и производства гидроодежды из различных материалов внесли российские и зарубежные ученые. Исследования, направленные на изучение теплозащитных свойств одежды для водолазов с подогревом, рассмотрены в работах Жаворонкова А.И., Анисимова А.А., Уитроу М., Джеймс Томас Э., Красберг А. В научных работах Ташпулатова С.Ш., Черуновой И.В., Барди Э., Моллендорфа Й., Пендергаста Д.Г., Шатара Ж. и др. представлены исследования физико-механических свойств материалов (пакетов материалов) для водолазных костюмов, а также для защитной одежды сварщиков и другой термически защитной одежды (работы Чижик М.А., Бринка И.Ю., Добровольской Т.А., Лаврентьевой Е.П., Сильченко Е.В. и др.), что является важной базой знаний для дальнейшего развития свойств оболочки гидроодежды и материалов для неё. Авторами Никитченко И.И., Власенко О.М., Наколсом М.Л. затрагиваются вопросы, связанные с модернизацией этапов проектирования водолазного спецснаряжения и совершенствования автоматической системы регулирования температуры водолазного спецснаряжения, а в работах Андреевой Е.Г., Сурженко Е.Я., Корниловой Н.Л., Кузьмичева В.Е. Менны Го, Тисленко И.В., Синьчжоу У. и других ученых представлены разработки по совершенствованию процессов проектирования одежды из эластичных материалов, однако результаты рассматриваемых исследовательских работ не учитывают процессы проектирование защитной гидроодежды для подводных сварщиков. Это определяет актуальность задачи поиска новых эффективных научных и проектных решений в технологиях производства изделий текстильной и легкой промышленности для защиты человека-сварщика под водой.

В части области исследований диссертационная работа соответствует направлениям: п.7 «Цифровое прогнозирование, математические методы, информационные технологии моделирования технологических процессов первичной обработки сырья, организации производства и изготовления волокон, нитей, материалов и изделий текстильной и легкой промышленности», п.16 Разработка методов моделирования и расчетного прогнозирования технологических процессов в условиях автоматизированного проектирования ИТЛП; п.19 Разработка новых материалов, обеспечивающих высокие эксплуатационные свойства ИТЛП паспорта научной специальности 2.6.16–Технология производства изделий текстильной и легкой промышленности.

Цель исследования – разработка научно-обоснованных процессов проектирования и производства специальной одежды для подводной сварки, обеспечивающей повышенный уровень индивидуальной защиты человека и одежды от термических рисков.

Объект исследования – термозащитная одежда (СИЗ) для подводной сварки, материалы и процессы ее проектирования и производства.

Предмет исследования – структура и термомеханические свойства материалов и оболочек гидроодежды, процессы теплопередачи в многокомпонентных оболочках гидроодежды, процессы автоматизированного проектирования швейных СИЗ, способы

изготовления, организации производства и методы оценки термозащитной специальной гидроодежды для подводной сварки.

Для достижения поставленной цели решены следующие **задачи исследования:**

– выполнен анализ современных особенностей и тенденций подводных сварочных технологических процессов, проблем защитной одежды (СИЗ) подводных сварщиков, биофизических особенностей организма человека при сварочных работах под водой, современных гидрокостюмов и материалов для них с обоснованием требований к спецодежде для подводной сварки;

– выполнено моделирование и исследование гидротермической системы «частица горячего металла – подводная среда – гидроодежда сварщика» с разработкой концепции и термических критериев к материалам оболочки термозащитной гидроодежды для подводной сварки;

– разработана и исследована структура и новые материалы полизоновой оболочки термозащитного гидрокостюма для подводной сварки, обеспечивающей повышенную защиту человека и одежды от подводных термических рисков;

– разработаны, исследованы и апробированы на примере новых защитных швейных изделий автоматизированные процессы проектирования средств индивидуальной защиты подводного сварщика с расширением функций САПР для оценки термической безопасности спроектированной гидроодежды на основе методов моделирования;

– разработана и апробирована технология автоматизированного управления производством инновационных швейных изделий для подводных сварщиков с созданием теоретической основы, алгоритмов и соответствующей компьютерной программы, учитывающая новые элементы технологического обеспечения процессов производства термозащитной гидроодежды и особенности рыночных рисков инноваций;

– выполнена разработка, оценка и апробация в производстве термозащитной гидроодежды (гидрокостюма) для подводной сварки и дополнительных актуальных СИЗ из новых функциональных материалов.

Исследования выполнены на кафедре «Конструирование, технологии и дизайн» Института сферы обслуживания и предпринимательства (филиала) Донского государственного технического университета в г.Шахты в рамках выполнения работ по научно-исследовательским проектам «Микроструктурный анализ вспененного компонента для прототипа композиционного материала» (Рег.№221091300047–9) и «Исследование деформационных свойств прототипа композиционного материала. Исследование термостойкости прототипа композиционного материала» (Рег.№222031400019–0) в рамках гранта Фонда содействия инновациям «Разработка прототипа композиционного материала с повышенной термомеханической устойчивостью для подводной эксплуатации» (Рег.№222022200001–5).

Методы исследования и технические средства решения задач.

Исследования выполнены с применением методов системного анализа, алгоритмизации, методов текстильного материаловедения, планирования эксперимента, вероятностных методов и методов математической статистики, теории игр, методов экономического анализа, инновационного и инвестиционного менеджмента. В работе применены симплекс-метод для решения задач линейного программирования, метод

структурно-графического анализа, инженерные методы конструирования специальной одежды.

Решение теоретических задач опиралось на применение классических научных подходов в теории термодинамики, тепломассопереноса, гидродинамики, аналитической геометрии, механики деформируемых тел.

В работе использовались современные технические средства и компьютерные технологии: комплекс оборудования лабораторий материаловедения швейного производства и автоматизированного проектирования одежды ИСОиП (филиала) ДГТУ в г.Шахты, тепловизор FLIR E5, система автоматизированного проектирования «Novo-cut», интегрированная среда численного моделирования COMSOL Multiphysics, программная среда для математического моделирования «Autodesk Fusion 360», программная среда «Mach3», графический редактор «Corel Draw», графические и расчетные пакеты Microsoft Office, прикладная компьютерная программа «Программа автоматизированного управления планом производства инновационных швейных изделий».

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

Научная новизна исследования заключается в следующем:

– разработана математическая модель прогнозирования термического воздействия на одежду сварщика под водой в системе «частица горячего металла – подводная среда – гидроодежда» с учетом установленных эргономических условий, гидродинамических и теплофизических параметров водной среды и сварочного металла;

– установлены и описаны механические, структурные и термические свойства нового поликомпонентного материала для гидроодежды в зависимости от состава и геометрических параметров вспененной основы и поверхностного условно-«бионического» покрытия;

– получены результаты моделирования процессов теплопередачи в системе «водная среда – горячая металлическая капля – многослойная оболочка гидроодежды – тело человека» и установлена зависимость температуры прогревания внутренней поверхности гидроодежды от параметров системы как инструмент формирования критерия термической безопасности СИЗ для подводной сварки;

– разработаны алгоритмы процессов автоматизированного проектирования гидрокостюма «мокрого типа» для подводной сварки, учитывающие особенности структуры и свойств нового защитного материала с расширением функций САПР по оценке термической безопасности гидроодежды;

– предложена концепция применения теории игр и на ее основе разработана методика и алгоритмы обеспечения технологии управления планом производства инновационных швейных изделий на примере термозащитной одежды для подводных сварщиков.

Теоретическая значимость работы. Для развития теоретических аспектов науки в технологии производства изделий текстильной и легкой промышленности имеют значение:

– концепция полизональной термозащитной оболочки принципиально нового

вида средств индивидуальной защиты – спецодежды для подводной сварки, учитывающая эргономику и теплофизические свойства компонент системы «человек/сварщик – одежда – среда» под водой;

– способ теоретического прогнозирования термического воздействия на одежду сварщика под водой на основе применения теории гидротермодинамики горячих частиц электродуговой сварки методами моделирования системы «частица горячего металла – подводная среда – гидроодежда».

Практическая значимость работы:

– разработан новый поликомпонентный материал на основе термостойкого силикона со специальной поверхностной структурой в виде упорядоченной рельефной матрицы, имитирующей бионическую поверхность («акуля кожа»), обеспечивающий повышенную термозащиту и износостойкость специальной гидроодежды для подводной сварки (Патент РФ № RU 2756454);

– разработан новый по структуре соединительный шов с повышенной эксплуатационной механической устойчивостью для герметичных деталей гидрокостюма для подводной сварки (Патент РФ № RU 2791020);

– разработан термозащитный гидрокостюм мокрого типа для подводной сварки с полизональной оболочкой из нового функционального материала (Патент РФ № RU 190542) и инженерные рекомендации для технологии его проектирования и производства;

– разработан новый вид и конструктивное решение дополнительного средства индивидуальной защиты (СИЗ) верхних конечностей человека (подводного сварщика) в условиях повышенных термических рисков под водой (Патент РФ № RU 2705266);

– разработана компьютерная программа, реализующая предложенную концепцию и методику автоматизированного управления планом производства инновационных швейных изделия (Свидетельство РФ на программу для ЭВМ № RU 2019665913);

– рекомендации по разработке конструкции и технологии проектирования и производства новой термозащитной гидроодежды для подводных сварщиков.

Достоверность проведенных исследований базируется на согласованности аналитических и экспериментальных результатов, на положениях классических научных теорий, на статистически доверительном уровне полученных аппроксимаций, на использовании современных информационных технологий, методов и средств проведения исследований. Апробация основных положений диссертации производилась в научной периодической печати, на конференциях, а также в рамках производственных процессов на швейных предприятиях по производству гидроодежды в Ростовской области (ООО «Фабрика АКВАТИМ», г.Ростов-на-Дону; ИП Ярмыш Н.В. / «AQUADISCOVERY» г.Ростов-на-Дону; в производственных процессах водолазных работ с подводной сваркой в ООО "ДОНПОДВОДСТРОЙМОНТАЖ", г.Ростов-на-Дону) и в учебном процессе при подготовке магистров по направлениям 29.04.01 «Технология изделий легкой промышленности» (профиль «Технология швейных изделий») и 27.04.05 «Инноватика» (профиль «Технологии швейных изделий») в ИСОиП (ф-ле) ДГТУ в г.Шахты.

Основные положения, выносимые на защиту:

– методика прогнозирования термического воздействия сварочного процесса на

гидроодежду человека под водой и соответствующая математическая модель, ее обеспечивающая;

– новый термозащитный материал для гидроодежды, состав, свойства и технологический способ его получения на основе разработанной геометрической и цифровой модели «бионической» структуры поверхности;

– алгоритмы процессов автоматизированного проектирования и управления производством термозащитной одежды для подводной сварки;

– уникальные научно-технические решения, реализованные в новых материалах, объектах СИЗ (термозащитной гидроодежде), элементах технологии её сборки и средствах автоматизации процессов швейного производства, защищенные патентами на изобретения и свидетельством на программу для ЭВМ соответственно.

Личный вклад автора. Соискателем сформулированы цель и основные задачи исследования, проведена систематизация литературных данных по тематике исследований, выбраны методы теоретических и экспериментальных исследований, разработаны методики и программы испытаний, выполнены исследования на их основе. Обобщение полученных результатов выполнены при участии научного руководителя И.В.Черуновой. Доля соискателя в опубликованных с соавторами работах по теме диссертации составляет от 25 до 100%.

Апробация и реализация результатов работы. Основные научные результаты проведенных исследований докладывались и получили положительную оценку на заседаниях кафедры «Конструирование, технологии и дизайн» ИСОиП (ф-ла) ДГТУ в г. Шахты; на Международной научной конференции «Потенциал науки-2017», 17.01.2018; Межвузовской научной конференции «Неделя Молодежной науки ДГТУ», 14.03.2016; Международной научно-практической конференции «Актуальные вопросы науки третьего тысячелетия», 09.02.2015; Международной научно-технической конференции «Дизайн», технологии и инновации в текстильной и легкой промышленности" (ИННОВАЦИИ-2016), 15.11.2016; V Всероссийской научно-практической конференции «Образование в России и актуальные вопросы современной науки», 16-17.05.2022; X Международной научной конференции «Приоритетные направления инновационной деятельности в промышленности», 30–31.10.2021; IX Международной научно-практической конференции «Научные междисциплинарные исследования», 12.01.2021; Всероссийской научной конференции молодых исследователей с международным участием «Инновационное развитие техники и технологий в промышленности» (ИНТЕКС – 2021), 12–15.04.2021; 6-й Всероссийской научно-практической конференции «Российские регионы как центры культурного развития в современном социокультурном пространстве», 23.10.2020; XI Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы науки и образования в условиях современных вызовов», 24.05.2022; XI Международной научно-практической конференции «Вопросы развития современной науки и техники», 16.11.2021; Всероссийских научных конференциях молодых ученых, аспирантов и студентов «Научная весна-2016», 12–17.05.2016 «Научная весна-2017», 15–19.05.2017; «Научная весна-2019», 13-17.05.2019, «Научная весна-2021», Шахты, 17-21.05.2021, «Научная весна-2022», 18.05.2022, «Научная весна-2023», 17.05.2023 в г. Шахты. Дипломы ряда конференций различного уровня свидетельствуют о состоятельности предлагаемых в диссертации решений.

Публикации. Основные результаты выполненных исследований опубликованы в 43 печатных работах, в том числе: 4 статьи в журналах, рекомендуемых ВАК при Минобрнауки России для изложения основных научных результатов диссертации на соискание учёной степени кандидата наук; 1 статья в издании, входящем в базу Scopus, 1 глава монографии, 4 патента РФ и 1 свидетельство на программу для ЭВМ.

Структура и объем работы. По своей структуре диссертация состоит из введения, 5-ти глав, выводов по главам, заключения, списка сокращений и условных обозначений, словаря терминов, списка литературы, приложений. Диссертация изложена на 237 страницах основного текста, включает 73 рисунка, 16 таблиц и 22 приложения, изложенные на 80 страницах. Список использованной литературы содержит 322 наименования.

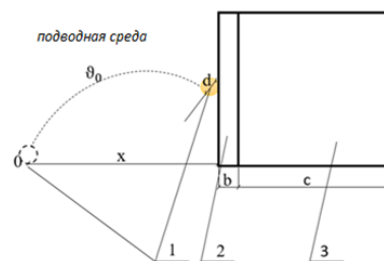
СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

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

В первой главе изучены современные проблемы и технологии защитной одежды подводных сварщиков. Разработана комплексная схема системы функционирования организма человека в гидроодежде, которая подвержена воздействию искр и брызг сварочной дуги с температурой даже при охлаждении в воде, приводящей к термическим рискам для приближенных участков поверхности одежды и человека. Сформулированы новые требования к конструкциям термозащитной гидроодежды, где термически уязвимые участки должны обладать повышенной термической устойчивостью, сохраняя при этом достаточные (эффективные) эластические свойства, что требует разработки новых специальных материалов и технологии проектирования из них спецодежды подводных сварщиков.

Во второй главе на основе эргономических исследований и изучения реальных образцов применяемой при подводной сварке одежды, установлены фактические зоны необходимой локальной защиты человека под водой от термических рисков: область предплечий, поверхность груди, захватывая зоны плеч, зоны локтей, колен, голени –

с учетом дополнительных требований к механической защите и переменных термических рисков соответственно. Разработана геометрическая схема модели системы «частица горячего металла – подводная среда – гидроодежда» для участка предплечья человека, как наиболее термически уязвимого (рисунок 1). На её основе разработана математическая модель прогнозирования термического воздействия на одежду сварщика под водой путем теоретического описания гидродинамического перемещения капли



1 – капля расплавленного металла, 2 – гидроодежда (слой оболочки), 3 – участок тела человека

Рисунок 1 – Схема связи в воде горячего металла и гидроодежды

горячего металла до контактной поверхности гидроодежды (1):

$$t = \frac{8\rho_T r}{\vartheta_0} \left\{ \exp \left(\frac{3C_x \rho x}{8\rho_T r \cos \alpha} \right) - 1 \right\} \quad (1)$$

где ϑ_0 – скорость движения капли электродного металла, м/с; где C_x – коэффициент аэродинамического (лобового) сопротивления, табличное значение; ρ – плотность водной среды, кг/м³ (с учетом глубины погружения, солености и температуры воды); ϑ – скорость движения капли электродного металла, м/с; d – диаметр капли электродного металла, м.; α угол между осью OX и вектором скорости v_0 вылета капли электродного металла, рад.

Результаты моделирования позволили установить время до прямого термомеханического контакта элементов системы (на примере усредненных вероятных условий: глубина погружения порядка 20–25 м, температура воды +20 °С, скорость воды 2,5 м/с), которое составило ~0,280 с., и соответствующую температуру контакта на поверхности гидроодежды, равную около 900 °С, которая является термическим критерием к требуемым защитным материалам.

В третьей главе разработана концепция структуры полизональной оболочки термозащитного гидрокостюма для подводной сварки (рисунок 2).

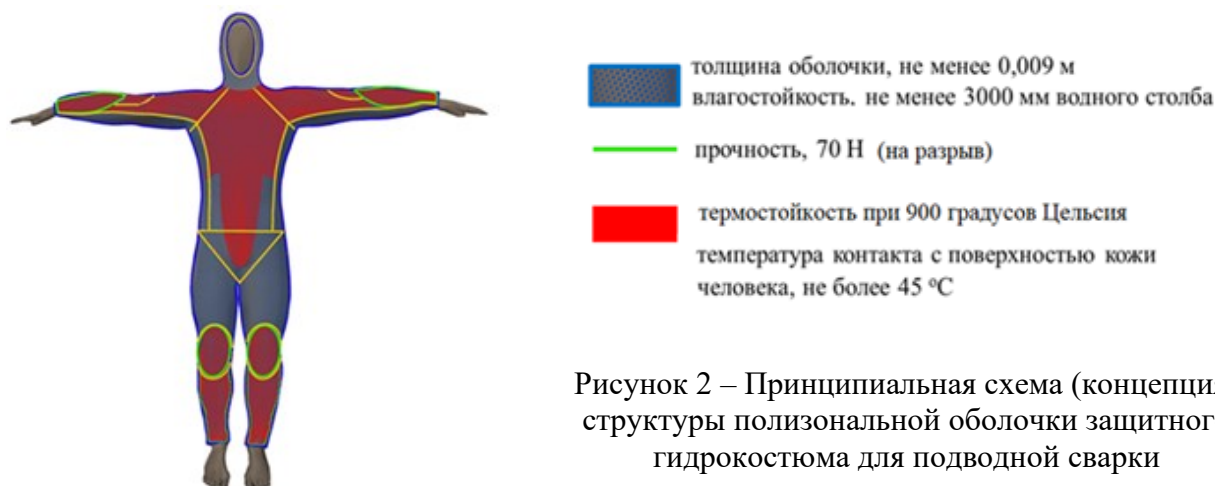


Рисунок 2 – Принципиальная схема (концепция) структуры полизональной оболочки защитного гидрокостюма для подводной сварки

Теоретически и экспериментально разработаны элементы информационной базы отдельных физико-технических характеристик вспененных материалов типа неопрен, среди которых за основу взят наиболее эффективный по показателям эластичности, требующий дополнительного термостойкого и водостойкого покрытия, для которого сформирован состав, разработан и апробирован технологический способ его изготовления на основе специально установленных типов термостойкого силикона. Для минимизации площади контакта горячих капель с одеждой обоснованы и разработаны модели (геометрическая, цифровая) бионической структуры, изготовлено с применением лазерных технологий барьерное термостойкое покрытие материала, симулирующее плакоидную акулю чешую. Экспериментально исследованы характеристики (полная относительная деформация, жесткость на изгиб, водопоглощение), которые позволили выявить эффективность применения в качестве исходного полимерного компонента силиконовую основу (тип ST-M-FI-900-2-5). Разработана общая структура комплексного поликомпонентного эластичного материала с барьерной термической защитой под водой (рисунок 3).

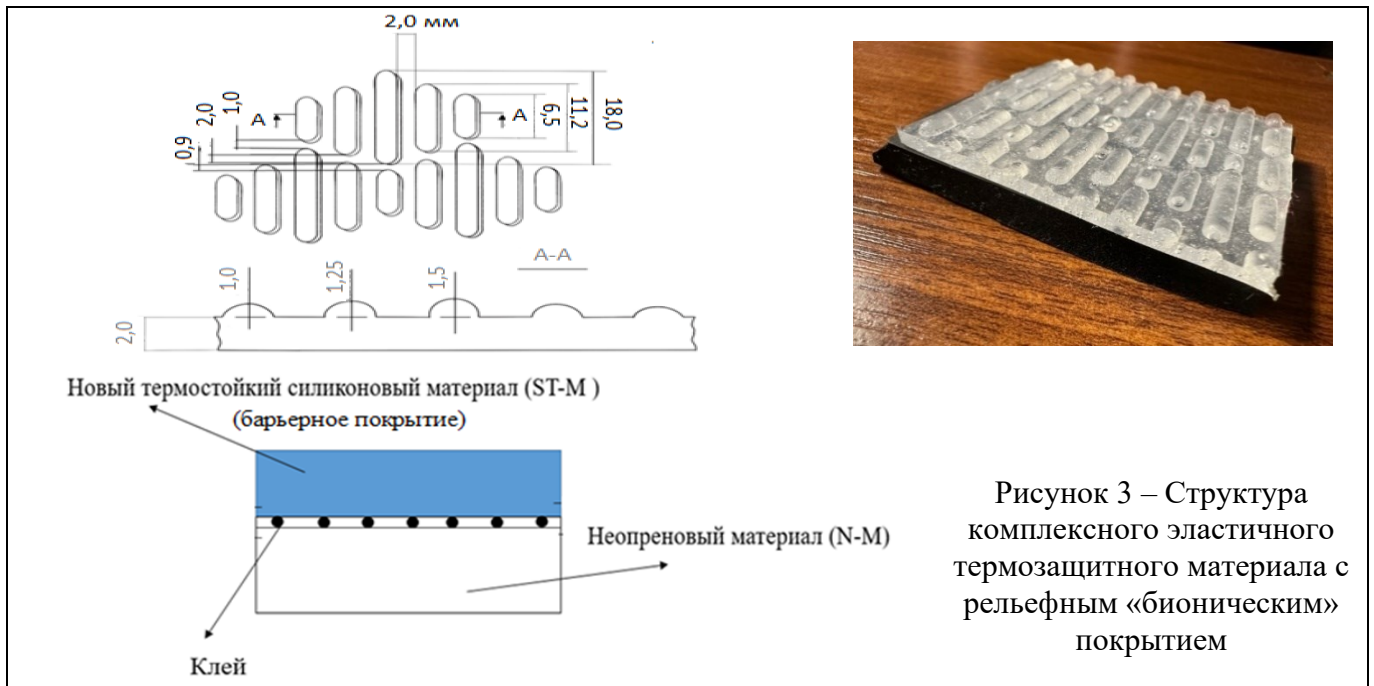


Рисунок 3 – Структура комплексного эластичного термозащитного материала с рельефным «бионическим» покрытием

Экспериментально исследована термическая стойкость полученного материала при воздействии кратковременного пламени, имитирующего термическую ситуацию в газовом пузыре вокруг горячей капли в воде, и установлено, что основание силиконового покрытия материала не повреждается.

Экспериментально установлена зависимость полной относительной деформации растяжения нового комплексного вспененного материала от его толщины, которая позволяет далее выбирать наиболее соответствующие требованиям эластичности варианты оболочки гидроодежды.

В четвертой главе разработан алгоритм процесса автоматизированного проектирования защитной одежды для подводной сварки с включением новых дополнительных проектных процедур (рисунок 4).

В первую очередь это блоки процедур оценки термической безопасности человека в одежде, которые реализованы с использованием средств численного моделирования в среде COMSOL Multiphysics на базе специально разработанной геометрической модели для многослойной гидроодежды.

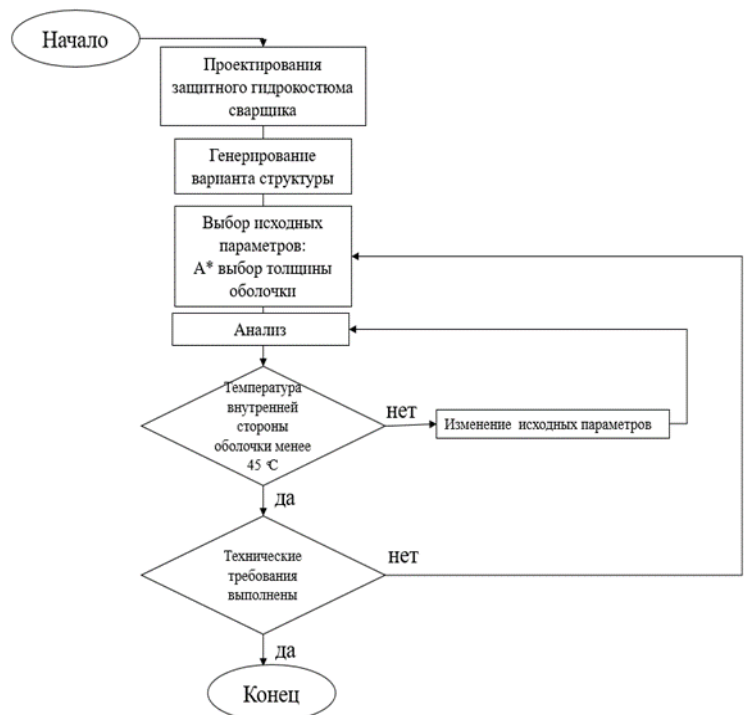


Рисунок 4 – Алгоритм автоматизированного проектирования термозащитной гидроодежды для подводной сварки с функцией оценки термической безопасности

Выполнено моделирование теплопередачи в системе «водная среда – горячая металлическая капля – многослойная оболочка гидроодежды – тело человека» и установлена температура внутренней поверхности гидроодежды на примере участка предплечья человека (сварщика), как наиболее термически уязвимо (рисунок 5).

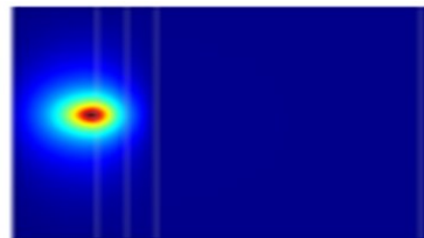


Рисунок 5 – Моделирование температурного поля в гидроодежде и на участке тела человека

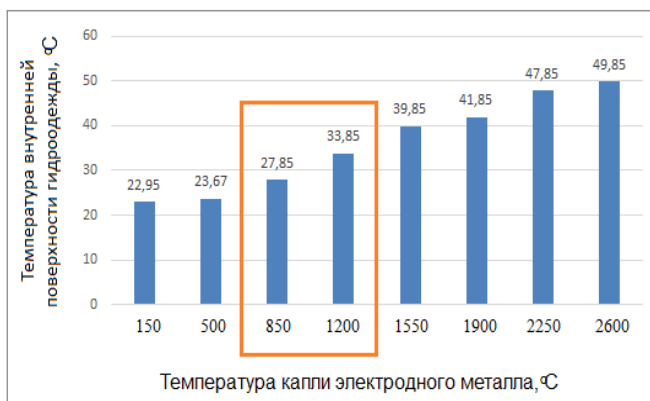


Рисунок 6 – Зависимость температуры внутренней поверхности гидроодежды от начальной температуры электродного металла

Получены зависимости температуры внутренней стороны гидроодежды от начальной температуры капли горячего металла с учетом структуры композиционного материала, которые позволили установить его эффективную толщину 10,5 мм. (рисунок 6) и обеспечить на теле человека нормальную температуру $\sim +30^{\circ}\text{C}$ и термозащитное превосходство до 31% над другими структурами слоёв.

Разработаны и запатентованы термозащитный костюм для подводной сварки и специальное СИЗ (Латы-перчатки) для дополнительной термозащиты верхних конечностей подводного сварщика.

В пятой главе разработаны схемы технологической сборки мужского термозащитного гидрокостюма с новыми блоками по формированию полизональной оболочки швейных изделий. Для мест соединения деталей из поликомпонентных материалов разработана и запатентована новая структура гидроизоляционного соединительного шва (рисунок 7), где материалы: 1 - типа неопрен, 2- комплексный термостойкий).

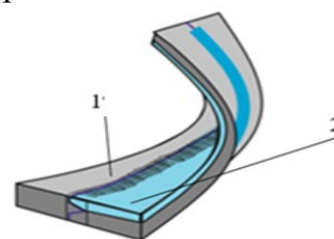


Рисунок 7 - Структура нового соединительного гидроизоляционного шва

Экспериментально доказана повышенная эксплуатационная механическая прочность нового шва (на 21%) относительно альтернативной структуры прототипа.

С целью обеспечения эффективной работы швейного предприятия, которое ставит целью внедрить в производство принципиально новые по функциям и свойствам швейные изделия, предложена новая концепция и методика принятия решений постановки их на производство с применением теории игр (рисунок 8). На базе новой методики создана и зарегистрирована в ФИПС компьютерная программа автоматизированного планирования производства инновационных швейных изделий,



которая позволяет учесть ресурсы предприятия и снизить рыночные риски инноваций.

Рисунок 8 - Схема формирования алгоритма выявления решений внедрения инновационных швейных изделий в производство с использованием теории игр

Комплексная оценка объектов разработки и анализ промышленной апробации результатов диссертации позволили получить положительные заключения.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

1. На основе изучения современных направлений и особенностей применения технологий подводной сварки установлено отсутствие спецодежды для подводных сварщиков, в условиях труда которых выявлены особые термические риски от воздействия частиц горячего металла, которые даже в воде приводят к повреждениям гидроодежды и рискам ожогов человека.

2. Разработана и исследована система «человек – сварочный процесс – подводная среда» для проектирования защитной одежды, на основе которой обоснованы и сформулированы требования к новому виду спецодежды для подводной сварки. Эти требования на базе проведенных эргономических исследований включают выявленные особые участки зонирования повышенных термозащитных свойств спецодежды: в первую очередь – области предплечий на поверхности рук, поверхность груди, захватывая зоны плеч, а также зоны локтей, колен, части брюк – с учетом требований к механической защите и переменных термических рисков соответственно.

3. Разработана математическая модель, в том числе ее геометрические и теплофизические компоненты, на основе которой исследованы и описаны процессы переноса металлических капель в системе «частица горячего металла – подводная среда – гидроодежда» и установлены параметры их термического воздействия на поверхность гидроодежды, исходя из которых разработаны термические критерии к материалам спецодежды подводного сварщика (требуемая термическая стойкость необходима в среднем порядка 900° С).

4. Разработана концепция структуры полизональной оболочки термозащитного гидрокостюма для подводной сварки, для которой по результатам проведенных аналитических и экспериментальных исследований установлены физико-технические

характеристики опорных вспененных материалов и разработан новый функциональный материал для барьерной термической защиты гидрокостюма в зонах повышенного риска. Для этого была разработана «бионическая» структура барьерного покрытия, реализованная в цифровой модели (на основе рельефа акульей кожи), на основе которой разработана технология, изготовлены и исследованы образцы нового материала с термозащитной рельефной поверхностью, которые показали достаточную термическую стойкость при эффективной эластичности и прочности (Патент РФ на изобретение RU 2756454 «Термостойкое силиконовое покрытие с поверхностной рельефной структурой»).

5. Разработан алгоритм автоматизированного проектирования термозащитной гидроодежды для подводной сварки, который включает специальный модуль, позволяющий оценить термическую безопасность подводного сварщика в защитной гидроодежде на основе разработанной геометрической модели, интегрированной в среду COMSOL Multiphysics, и результатов описания процессов теплопередачи в многослойной оболочке в системе «водная среда – горячая металлическая капля – многослойная оболочка гидроодежды – тело человека» методами численного моделирования.

6. Полученные результаты моделирования позволили установить зависимости распределения температуры внутри многослойной структуры гидроодежды от условий термического воздействия горячего металла в воде, в результате чего выявлена наиболее эффективная структура материалов оболочки общей толщиной 10,5 мм, которая превосходит по термозащите другие варианты комбинированной структуры до 31%, позволяя поддерживать температуру внутренней поверхности гидроодежды около 30 °С в пределах физиологической нормы, исключив риски прожигания одежды и последующих ожогов человека для наиболее распространенных условий подводной сварки.

7. На основе разработанной концепции многозональной оболочки, новых материалов и алгоритма автоматизированного проектирования термически безопасной гидроодежды разработан специальный термозащитный костюм для подводной сварки (Патент РФ на изобретение RU 2796939 «Защитный термостойкий гидрокостюм мокрого типа для подводной сварки»), в комплект к которому разработан специальный новый вид СИЗ верхних конечностей человека – «Латы-перчатки» (Патент РФ на изобретение RU 2705266 «Латы-перчатки огнестойкие с дополнительной функцией освещения») для повышения уровня индивидуальной защиты человека в экстремальных условиях термических рисков под водой.

8. Для промышленной реализации предложенных решений разработаны схемы технологической сборки мужского термозащитного гидрокостюма для подводной сварки с учетом полизональной оболочки одежды и разработан новый гидроизоляционный соединительный шов, результаты исследования которого показали его повышенную эксплуатационную прочность на 21%, с учетом которого разработаны методы и средства обеспечения технологического процесса производства данной гидроодежды.

9. Учитывая высокую концентрацию инновационных решений и принципиально новый вид созданной спецодежды, разработана концепция, методика, алгоритмы и компьютерная программа ее реализации на основе теории игр для управления постановкой на производство объектов инноваций в швейной промышленности, апробированные для гидроодежды подводных сварщиков (Свидетельство на программу для ЭВМ (РФ) №2019665913 «Программа автоматизированного управления планом производства инновационных швейных изделий»).

10. Выполнена комплексная оценка объектов разработки и анализ промышленной апробации результатов диссертационной работы, которые показали положительные результаты и внедрены на швейных предприятиях ООО «Фабрика АКВАТИМ» и ИП Ярмыш Н.В. «AQUADISCOVERY» (г.Ростов-на-Дону); на предприятии, выполняющем промышленные водолазные работы с подводной сваркой ООО «ДОНПОДВОДСТРОЙМОНТАЖ» (г.Ростов-на-Дону) и в учебном процессе в ИСОиП (филиале) ДГТУ в г. Шахты Ростовской области.

Анализ полученных результатов внедрения, апробации и оценки свойств и функций новой термозащитной гидроодежды показал, что установленные термические критерии к материалам и оболочке термозащитного гидрокостюма подводного сварщика достигнуты, разрушения структуры поверхности гидрокостюмов после продолжительного применения не наблюдается.

Подтверждено, что разработанные термозащитные детали и изделия специального подводного снаряжения (гидроодежды, СИЗ) представляют собой новую категорию средств индивидуальной защиты от термического воздействия сварочного процесса под водой, что увеличивает срок эксплуатации изделий, их надежность, а также обеспечивает главный результат – защищенность и нормальное функционирование тела специалиста (человека) в условиях подводной сварки.

Публикации, отображающие основное содержание диссертации:

- *Статьи в изданиях, входящих в «Перечень» ВАК при Минобрнауки РФ:*

1. Коринтели А.М., Черунова И.В., Меркулова А.В. Исследование термических воздействий процесса подводной сварки на защитную гидроодежду // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4: Промышленные технологии. 2023. - № 1. - С. 109-115.
2. Коринтели А.М., Черунова И.В. Методология определения функционального соответствия САД-систем для проектирования спецодежды // Дизайн. Материалы. Технология. - 2021. - № 4 (64). - С.75-79.
3. Коринтели А.М., Черунова И.В. Разработка и исследование вентилируемой термостойкой одежды // Костюмология. - 2020. - №Т. 5. № 1. - С.12.
4. Коринтели А.М. и др. Влияние морской среды на свойства текстильных материалов для одежды / И.В. Черунова, А.М. Коринтели, М.П. Стенькина М.П., Т.Ю. Лесникова Т.Ю. // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. - 2018. - №80. № 3 (77). - С. 312-316.

- *Статьи в изданиях, индексируемых в базе SCOPUS:*

5. Korinteli A., Cherunova I., Lesnikova T. Effect of aggressive components of the marine environment the protective properties of the textile materials // Solid State Phenomena. - 2017. - №265. - С. 187-191.

- *Патенты и свидетельства на программы для ЭВМ:*

6. Патент на изобретение RU 2796930 Защитный термостойкий гидрокостюм мокрого типа для подводной сварки / Коринтели А.М., Черунова И.В. // ФГБОУ ВО ДГТУ. опубли. 25.05.2023. Бюл.№16.
7. Патент на изобретение RU 2791020 Способ герметичного соединения деталей из монокомпонентных

материалов с поликомпонентным покрытием / Коринтели А.М., Черунова И.В. // ФГБОУ ВО ДГТУ. опубл.01.03.2023. Бюл.№7.

8. Патент на изобретение RU 2705266 Латы-перчатки огнестойкие с дополнительной функцией освещения /Коринтели А.М., Черунова И.В., Черунов П.В. // ФГБОУ ВО ДГТУ. опубл. 06.11.2019. Бюл.№31.

9. Патент на изобретение RU 2756454 Термостойкое силиконовое покрытие с поверхностной рельефной структурой / Коринтели А.М., Черунова И.В. // ФГБОУ ВО ДГТУ; опубл. 30.09.2021. Бюл.№28.

10. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2019665913 Программа автоматизированного управления планом производства инновационных швейных изделий / Коринтели А.М., Черунова И.В. // ФГБОУ ВО ДГТУ; опубл. 03.12.2019.

• *Монографии:*

11. Коринтели А.М., Черунова И.В. Условия и требования к специальной защитной одежде подводных сварщиков // Глава в монографии «Актуальные вопросы современной науки и образования». – Пенза: Наука и Просвещение. – 2023. – С 194-205.

• *Другие публикации:*

12. Коринтели А.М., Черунова И.В. Исследование влияния морской соли на эксплуатационные свойства материалов для одежды // Сб-к научных трудов «Научная весна - 2016: технические науки». – Шахты: ИСОиП (ф-л) ДГТУ. - 2016. - С. 261-264.

13. Коринтели А.М., Черунова И.В. Анализ технологий повышения качества защитной одежды сварщиков // Сб-к научных статей «Современный стиль управления». - Чебоксары: ЧГПУ. - 2016. - С. 598-602.

14. Коринтели А.М., Алейникова О.А. Применение теории игр для повышения эффективности экономической деятельности швейного предприятия // Сб-к научных трудов «Научная весна - 2016: технические науки». – Шахты: ИСОиП (ф-л) ДГТУ. - 2016. - С. 67-72.

15. Коринтели А.М., Черунова И.В., Лесникова Т.Ю. Исследование влияния морской соли на свойства материалов для нефтезащитной одежды // Мат-лы межд. научн.-техн.конф. «Дизайн, технологии и инновации в текстильной и легкой промышленности (ИННОВАЦИИ-2016).-Москва:МГУДТ.-2016.-С.46-48.

16. Коринтели А.М., Черунова И.В., Колесник С.А. Исследование жесткости материалов для проектирования одежды с учетом способов влагозащиты и технологий формообразования // Научно-методический электронный журнал "Концепт". - 2016. - №Т15. - С. 2426-2430.

17. Коринтели А.М., Черунова И.В. Исследование эргономических параметров для проектирования одежды сварщиков // Сб-к научных трудов «Научная весна - 2017: технические науки». – Шахты: ИСОиП (ф-л) ДГТУ. - 2017. - С. 13-19.

18. Коринтели А.М. Оценка рисков производства инновационной конструкции спецодежды // Сб-к научных статей 5-й Всеросс. научн.-техн. конф. «Прогрессивные технологии и процессы». - Курск: Изд-во «Университетская книга». - 2018. - С. 147-151.

19. Коринтели А.М., Черунова И.В. Оценка свойств воздухообмена в материалах для термостойкой одежды // Сб-к научных трудов «Научная весна - 2018: технические науки». – Шахты: ИСОиП (ф-л) ДГТУ. - 2018. - С. 196-204.

20. Коринтели А.М. и др. Исследование текстильных материалов для защитных швейных изделий / И.В. Черунова, Е.Б. Стефанова, Я.О. Выпрягаева, А.М. Коринтели // Сб-к научн.трудов «Техническое регулирование: базовая основа качества материалов, товаров и услуг». – Шахты: ИСОиП (ф-л) ДГТУ. - 2018. - С. 250-254.

21. Коринтели А.М., Черунова И.В. Специализированная программа для автоматизации образовательного процесса в текстильном материаловедении // Сб-к научных статей Межд. научн.-мет.конф. «Образование. Наука. Карьера». - Курск: Изд-во "Университетская книга". - 2018. - С. 65-69.

22. Коринтели А.М. и др. Совершенствование классификации факторов, влияющих на прочность ниточных соединений / С.Ш. Ташпулатов, Р.Х. Ботирова, Е.Б. Стефанова, А.М. Коринтели // Сб-к научных трудов «Научная весна - 2019: технические науки». – Шахты: ИСОиП (ф-л) ДГТУ. - 2019. - С. 240-246.

23. Коринтели А.М., Черунова И.В. Исследование воздухообменных свойств в системе материалов для одежды сварщиков // Сб-к научн.трудов «Техническое регулирование: базовая основа качества материалов, товаров и услуг». - Новочеркасск: Изд-во «Лик». - 2019. - С. 63-66.

24. Коринтели А.М., Лесникова Т.Ю., Сирота Е.Н. Физико-технические характеристики материалов для защитной спецодежды от водной среды // Сб-к научных трудов «Научная весна - 2019: технические науки». – Шахты: ИСОиП (ф-л) ДГТУ. - 2019. - С. 78-82.

25. Коринтели А.М., Григорьева Г.Б. Оценка рисков производства одежды специального назначения // Мат-лы X Всерос. научн.-практ.конф. «Мир в зеркале языков: комплексная парадигма». - Шахты: ИСОиП

(ф-л) ДГТУ. - 2019. - С. 43-47.

26. Коринтели А.М. Использование теории игр в процессе реализации инновационной деятельности швейной промышленности // Дневник науки. - 2019. - №12 (36). - С. 16.
27. Коринтели А.М., И.В. Черунова Оценка влияния вентиляционной конструкции термостойкого костюма на физиологические параметры человека // Дневник науки. - 2019. - №4 (28). - С. 1-19.
28. Коринтели А.М., Черунова И.В. Разработка элементов технологии создания бионической структуры материала защитной одежды от термических воздействий подводной сварки // Технологии и качество. - 2020. - №3 (49). - С.6-11.
29. Коринтели А.М., Сирота Е.Н., Черунова И.В. Способы сборки многозональной поверхности гидрокостюма // Сб-к научных трудов «Научная весна - 2020: технические науки». – Шахты: ИСОиП (ф-л) ДГТУ. - 2020. - С. 240-246.
30. Коринтели А.М., Черунова И.В. Исследование термической устойчивости специального материала для барьерной защиты одежды для подводной сварки // Мат-лы 6-й Всерос. научн.-практ.конф. «Российские регионы как центры развития в современном социокультурном пространстве». - Курск:ЮЗГУ.-2020.С.53-56.
31. Коринтели А.М., Мендюкова А.С. Исследование и разработка способов повышения гидроизоляции в гидрокостюмах мокрого типа // Мат-лы 6-й Всероссийской научн.-практ.конф. «Российские регионы как центры развития в современном социокультурном пространстве». - Курск: ЮЗГУ. - 2020. - С.62-67.
32. Коринтели А.М., Мендюкова А.С. Анализ материалов для спецодежды, защищающей от высоких температур // Сб-к научных трудов «Научная весна-2021: технические науки». - Шахты: ИСОиП (ф-л) ДГТУ.- 2021. - С. 122-129.
33. Коринтели А.М. и др. Бионика и цифровизация в швейной промышленности / А.С. Веретельников, Д.В. Клейменкин, А.М. Коринтели // Актуальные научные исследования в современном мире. - 2021. - №10-10 (78) . - С. 50-53.
34. Коринтели А.М. и др. Разработка модели сухого гидрокостюма с системой обогрева / В.Ю. Борисюк, М.В. Бырдина, А.М. Коринтели // Сб-к научных трудов «Научная весна-2021: технические науки». - Шахты: ИСОиП (ф-л) ДГТУ. - 2021. - С. 16-20.
35. Коринтели А.М., Борисюк В.Ю. Исследование и разработка технологии повышения эксплуатационной надежности подводных специалистов // Мат-лы II Международной научн.-практ.конф. «Актуальные вопросы и перспективы развития науки, техники и технологии». - Казань: НИЦ "Астор и Я". -2021. -С.42-46.
36. Коринтели А.М., Клейменкин Д.В. Автоматическая сегментация в области изделий швейной промышленности на базе свёрточной нейронной сети // Мат-лы II Межд. научн.-практ.конф. «Современные тенденции развития науки и мирового сообщества в эпоху цифровизации». - Махачкала: Институт развития образования и консалтинга. - 2021. - С. 71-77.
37. Коринтели А.М. и др. Автоматизация и внедрение корпоративной информационной системы в область швейной промышленности / А.С. Веретельников, Д.В.Клейменкин, А.М. Коринтели // Сб-к статей VIII Все-росс.научн.-практ.конф.«Инновационные технологии управления».-НижнийНовгород:НГПУ.- 2021.С.84-87.
38. Коринтели А.М., Мендюкова А.С. Средства малой механизации для промышленных швейных машин // Сб-к научных статей X международной научн. конф. «Приоритетные направления инновационной деятельности в промышленности». - Казань: Конверт. - 2021. - С. 161-164.
39. Коринтели А.М., Черунова И.В. Разработка модели поликомпонентного термостойкого материала со специальной поверхностной структурой с использованием трехмерного моделирования // Сб-к научных статей X международной научн. конф. «Приоритетные направления инновационной деятельности в промышленности». - Казань: Конверт. - 2021. - С. 55-56.
40. Коринтели А.М., Черунова И.В. Экспериментальное обоснование барьерных материалов для термической защиты спецодежды // Мат-лы Всероссийской научн. конф. с межд.участием «Инновационное развитие техники и технологий в промышленности». - Москва:РГУ им.А.Н. Косыгина.- 2021. - С.55-60.
41. Коринтели А.М., Черунова И.В., Обоснование конструктивно-технологических параметров конструкции новых моделей защитного гидрокостюма // Актуальные научные исследования в современном мире. 2021. - № 10-10 (78).- С. 54-56.
42. Коринтели А.М., Черунова И.В. Модельное обоснование применения барьерных материалов в спецодежде подводных сварщиков // Мат-лы XI Международной научно-практ. конф. «Актуальные проблемы науки и образования в условиях современных вызовов». – М.: Изд-во "ИРОК". 2022. - С. 129-134.
43. Коринтели А.М., Черунова И.В. Исследование и разработка термически устойчивых барьерных слоев для спецодежды подводных сварщиков // Уральский научный вестник. - 2023. - Т.4. - №9. - С.140-148.

КОРИНТЕЛИ АННА МИХАЙЛОВНА

**ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ПРОЦЕССОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ
ТЕРМОЗАЩИТНОЙ ОДЕЖДЫ ДЛЯ ПОДВОДНОЙ СВАРКИ**

Автореферат диссертации на соискание ученой
степени кандидата технических наук

Специальность 2.6.16. «Технология производства изделий
текстильной и легкой промышленности»

Бумага офсетная. Печать цифровая

Подписано в печать _____ г.

Формат бумаги 60×90/16.

Усл. печ. л. 1,5. Тираж 110 экз. Заказ № _____.

Издательский центр ИСОиП (филиала) ДГТУ в г. Шахты
346500, г. Шахты, Ростовская обл., ул. Шевченко, 147