



На правах рукописи

Советников Дмитрий Анатольевич

**РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ПАКЕТА МАТЕРИАЛОВ
ДЛЯ СПЕЦОДЕЖДЫ ВОЕННОСЛУЖАЩИХ,
ИСПОЛЬЗУЕМОЙ В АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ**

**Специальность: 05.19.01 - Материаловедение производств текстильной и
легкой промышленности**

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

Москва-2017

Работа выполнена на кафедре материаловедения и товарной экспертизы Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)»

Научный руководитель: доктор технических наук, заведующий кафедрой «Производственный менеджмент» **Мишаков Виктор Юрьевич**

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор кафедры «Материаловедение, товароведение, стандартизация и метрология» ФГБОУ ВО «Ивановский государственный политехнический университет» **Гусев Борис Николаевич**

кандидат технических наук, доцент кафедры «Дизайн и цифровые искусства» ФГБОУ ВО «Институт прикладных информационных технологий и коммуникаций Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.» **Загоруйко Марина Владимировна**

Ведущая организация: Общество с ограниченной ответственностью Научно-производственный комплекс «ЦНИИШерсть»

Защита состоится «22» июня 2017 г. в 10.00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.144.06 на базе ФГБОУ ВО «РГУ им. А.Н. Косыгина» по адресу: 117997, г. Москва, ул. Садовническая, д. 33, стр. 1, ауд. 156.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «РГУ им. А.Н. Косыгина» и на сайте www.mgudt.ru.

Автореферат разослан «_____» _____ 2017 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д 212.144.06
доктор технических наук, профессор

Е.А. Кирсанова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы: Сегодня Арктика стала территорией, где сталкиваются политические и экономические интересы многих развитых и развивающихся стран. Количество воинских частей и подразделений в арктической зоне только увеличивается и, соответственно, все более остро встает вопрос обеспечения военнослужащих одеждой, позволяющей выполнять служебно-боевые задачи.

На сегодняшний день разработка утеплителей с заданными свойствами, их эффективное применение для создания пакета одежды с улучшенными теплосохраняющими свойствами, обеспечивающими наименьшую потерю тепла в процессе эксплуатации одежды в арктической зоне, является актуальной задачей.

Ни один из существующих методов анализа и расчета эффективного коэффициента теплопроводности нетканого теплоизоляционного материала не учитывает реальных условий эксплуатации изделия.

До настоящего времени не в полной мере изучены свойства и характеристики, как отдельных материалов, так и в целом пакетов одежды, которые бы обеспечили комфортные условия при эксплуатации спецодежды в различных климатических зонах и в разных условиях интенсивности их применения. Все вышеперечисленные факторы подтверждают актуальность проведения данных исследований.

Целью работы является разработка и исследование современных инновационных нетканых утепляющих материалов и пакетов спецодежды, проектирование показателей материалов и пакетов одежды с заранее заданными свойствами в арктической зоне России.

Основными задачами исследования являются:

проведение анализа научных исследований в области создания и научного обоснования оптимальных комплектов одежды для арктической зоны;

получение новых сравнительных данных о структурных, механических теплофизических свойствах нетканых утеплителей, используемых в современной одежде для арктической зоны;

разработка модели прогнозирования теплофизических свойств и толщины нетканого волокнистого полотна на основе экспериментально полученных регрессионных моделей температурной зависимости эффективного коэффициента теплопроводности;

исследование характеристик, определяющих сохраняемость пакетов

при эксплуатации - упругость при многократном смятии, миграция волокна;
установление оптимального состава и структуры нетканого утеплителя, а также пакета материалов для спецодежды, используемой в арктической зоне;
разработка нетканого теплозащитного материала, структура и волокнистый состав которого обеспечат заданные показатели упругости при многократном сжатии и снизят миграцию волокон;
проведение промышленной и эксплуатационной проверки разработанных нетканых материалов и изделий из них.

Научная новизна результатов диссертационного исследования:

научно обоснованы состав и структура утеплителя, разработан и исследован новый нетканый материал для специальной одежды, применяемой в арктической зоне России;

разработан метод расчета и выявлены зависимости требуемых значений эффективного коэффициента теплопроводности от плотности среды для нетканых утепляющих материалов;

экспериментально подтверждена теоретическая модель расчета эффективного коэффициента теплопроводности;

получены регрессионные модели температурной зависимости эффективного коэффициента теплопроводности;

получены новые данные по теплофизическим и потребительским свойствам нетканых утепляющих материалов и пакетов спецодежды.

Теоретическая значимость работы заключается в разработке концепции создания и научного обоснования оптимальных комплектов одежды для арктической зоны на базе системного подхода к структуре пакета утеплителя.

Практическая значимость работы:

разработан новый нетканый теплозащитный материал, выполненный из бикомпонентных термоплавких штапельных волокон с высокими теплозащитными свойствами, полученный комбинированным способом (заявка о выдаче патента Российской Федерации на полезную модель «Нетканый теплозащитный материал» вх. от 09.08.2016 № 050790, рег. № 2016132781);

разработано и утверждено изменение в нормативно-техническую документацию ТУ 8585-08894280-319-14 «Костюм (куртка и полукомбинезон) утепленный специальный с двумя утеплителями и съёмным капюшоном, камуфлированной цифровой расцветки «осень-зима» (изм. № 3 к ТУ 8585-08894280-319-14 от 03.06.2016);

изготовлена опытная партия спецодежды по ТУ 8585-08894280-319-14

изм. 3 на предприятии «Военформ-дизайн», осуществляющей поставку обмундирования (акт об изготовлении опытной партии вещевого имущества);

проведена опытная носка спецодежды в подразделениях в/ч 55056 и получены положительные результаты (акт внедрения опытной партии изделия);

исследованы теплозащитные свойства пакетов и элементов верхней специальной одежды для арктических условий.

Основные методы исследования. При исследовании структуры нетканых материалов на основе синтетических волокон использован комплекс существующих базовых методов исследования, которые изложены в требованиях стандартов, разработанных в России и гармонизированными со стандартами европейских стран. Исследования физико-механических свойств осуществляли в соответствии с требованиями стандартов на известных устройствах. Определение многократного и однократного сжатия производилось на основании предложенного нами метода, вошедшего в ГОСТ Р 57027-2016.

В работе применяли графические, расчетные и аналитические средства MS Windows, MS Excel.

Апробация работы. Спецодежда с применением разработанных нетканых утепляющих материалов была представлена на ежегодной коллегии Пограничной службы, а также на ежегодной коллегии ведомства в 2015 -2017 гг.

Материалы диссертационной работы и спецодежда с применением разработанных нетканых утепляющих материалов представлены на Международной выставке средств обеспечения государства: «Интерполитех-2015» (Москва, 2015); «Интерполитех-2016» (Москва, 2016).

Положения, выносимые на защиту:

оценка современного состояния разработки инновационных нетканых утепляющих материалов и пакетов спецодежды;

разработка концепции создания и научного обоснования оптимального волокнистого состава, структуры, оптимизации режимов и параметров изготовления нетканых утепляющих материалов и пакетов спецодежды;

метод определения однократного и многократного сжатия нетканых термоскрепленных объемных синтетических полотен;

прогнозирование теплофизических свойств и толщины нетканого волокнистого полотна на основе полученных регрессионных моделей температурной зависимости эффективного коэффициента теплопроводности;

исследование теплофизических и потребительских свойств нетканых утепляющих материалов и пакетов спецодежды;

производственная и эксплуатационная проверка разработанных нетканых материалов и изделий из них.

Личное участие автора состоит в обосновании темы, постановке цели и задач исследования, анализе и обобщении полученных результатов, формулировании теоретических положений и выводов диссертации, разработке новых методов и методик, проведении экспериментальных исследований и промышленной апробации разработанных нетканых материалов и изделий из них.

Публикации. Основные теоретические и практические результаты диссертации опубликованы в 8 работах (лично автором 2,2 п.л.), среди которых 5 публикаций в ведущих рецензируемых изданиях, рекомендованных в действующем перечне ВАК, 3 статьи – в отраслевых отечественных журналах; издано учебное пособие общим объемом 60 страниц; подана заявка на патент РФ (на полезную модель); принято участие в подготовке национального стандарта Российской Федерации ГОСТ Р 57027-2016.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав с выводами, общих выводов по работе. Она изложена на 146 страницах машинописного текста, включает 48 рисунков, 20 таблиц, 4 приложения и содержит список литературы из 94 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность работы, сформулированы цели и основные задачи исследований, дана общая характеристика, указана научная новизна и практическая значимость результатов работы.

В первой главе проведен анализ литературных данных и нормативных документов, а также отзывов ведущих специалистов отрасли, подтверждающих актуальность исследований, направленных на разработку, совершенствование и установление требований к текстильным волокнистым нетканым материалам для специальной теплозащитной одежды.

Рассмотрен принцип многослойности (совокупности всех слоев материалов, в том числе пакетов), который используют при проектировании теплозащитной одежды. Очевидно, что практическое решение уравнения суммарного теплового сопротивления одежды получить сложно, т.к. все слагаемые в уравнении являются переменными величинами, и оценить достоверно влияние температурных

параметров на теплопроводность текстильных материалов и воздуха не представляется возможным. Следовательно, в процессе проектирования теплозащитной одежды необходимо особое внимание уделять повышению теплового сопротивления за счет снижения воздухопроницаемости «пакета» спецодежды и соответственно теплотеря изделия.

Во второй главе проанализирован комплекс существующих базовых методов исследования, которые изложены в требованиях соответствующих стандартов. На основании указанного анализа проведен выбор основных методов исследования, которые можно использовать в настоящее время при разработке пакетов теплозащитной одежды на основе синтетических утеплителей.

Проанализированы методы исследования нетканых синтетических утеплителей, которые необходимы при отработке технологических режимов производства нетканых материалов с определенным содержанием и размером пор, и имеющих заданный комплекс физико-механических характеристик.

Проанализированы известные применяемые в настоящее время методы определения миграции волокон и рекомендован метод, непосредственно моделирующий условия носки одежды, применительно к синтетическим нетканым утеплителям и к пакетам теплозащитной одежды с их применением.

В третьей главе выработаны рекомендации по проектированию и созданию новых типов и структур нетканых утеплителей для арктической зоны. На основе указанных рекомендаций, имея в виду обеспечение комфортных условий спецодежды по теплозащитным свойствам, произведя анализ параметра «цена + качество», нами в процессе написания работы разработан новый нетканый теплозащитный материал. Указанный материал выполнен из термоплавких

Разработанный нетканый теплозащитный материал

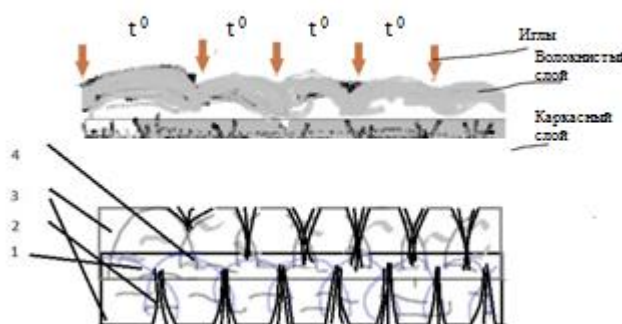


Рисунок 1 – Схема поперечного среза разработанного теплозащитного материала

штапельных волокон 3, расположенных по одну или обе стороны каркасного полотна 1, скрепленного между собой посредством иглопрокалывания 2, 4 и термообработки.

Волокнистый слой на поверхности содержит частично подправленные волокна, отличающиеся тем, что каркасное полотно выполнено из 100 % бикомпонентного полиэфирного

волокна или полипропиленового волокна с диаметром волокон $34 \div 82$ мкм, или бикомпонентного полиэфирного волокна и полиэфирного волокон

при соотношении волокон масс % 50:50, волокнистый слой выполнен из 100 % полиэфирных или бикомпонентных волокон диаметром не менее 40 мкм.

Экспериментально установлено оптимальное процентное содержание бикомпонентных волокон в составе, составляющее около 20 %, с точки зрения улучшения деформационных характеристик и экономии более дорогостоящего компонента в составе сырья.

Технологическим решением явилось создание нетканого теплоизоляционного материала, обладающего высоким суммарным тепловым сопротивлением, одновременно максимально низкой миграцией волокон с поверхности материала и имеющего стабильную структуру.

Исследованы основные характеристики разработанного материала разной поверхностной плотности (табл.1).

Таблица 1 – Характеристики разработанного материала в зависимости от поверхностной плотности

Наим-е показателя	Образцы полотна разработанного материала:										Метод испытания
	Однородное полотно, рыхлой структуры, без посторонних включений, цвет белый с оттенками										
Внешний вид											
Поверхн. плотность, г/м ²	89	98	148	182	190	266	268	293	388	449	ГОСТ 3811-72 ИСО 3801-77
Толщина при давл. 0,5 кПа, в мм	1,38	1,99	4,42	4,67	6,23	7,88	7,96	4,96	7,35	7,56	ГОСТ 12023-2003
Неровнота по массе (коэф. вариаци.), %	6,1	3,8	7,5	3,2	4,3	3,6	4,2	1,9	2,2	4,3	ГОСТ 15902.2-2003
Разрывная нагрузка, Н по длине по ширине	4	5	10	7	8	9	9	13	19	16	ГОСТ Р 53226-2008
	9	10	35	27	37	30	35	51	99	71	
Деформация при однокр. сжатию, %	95	96	85	91	83	90	88	97	92	96	ГОСТ Р 57027-2016
Деформация при многокр. сжатию, %	83	75	73	68	65	78	79	90	87	94	ГОСТ Р 57027-2016
Суммарное тепловое сопротивление, м ² °C/Вт	2 слоя 0,368	2 слоя 0,388	1 слой 0,387	1 слой 0,391	1 слой 0,392	1 слой 0,41	1 слой 0,397	1 слой 0,388	1 слой 0,415	1 слой 0,425	ГОСТ 20489-85
Теплопроводность, Вт/м К	2 слоя 0,045	2 слоя 0,049	1 слой 0,039	1 слой 0,042	1 слой 0,039	1 слой 0,04	1 слой 0,036	1 слой 0,037	1 слой 0,037	1 слой 0,036	ГОСТ 7076-99

Дальнейшие исследования производились для пакетов одежды с утеплителями поверхностной плотностью 150 г/м² (далее РМ-150) и 200 г/м² (далее РМ-200).

Исследования деформационных характеристик (изменение толщины при сжатии) проводились на основе предложенного нами в процессе выполнения работы метода определения однократного и многократного сжатия, который введен в ГОСТ Р 57027-2016 «Полотна нетканые термоскрепленные объемные синтетические. Общие технические условия».

Экспериментальные исследования показали, что разработанный материал имеет высокую устойчивость к многократному и однократному сжатию.

Для исследования характеристик пакетов одежды непосредственно с применением разработанного материала были сформированы пакеты в соответствии с уже имеющимися на снабжении изделиями - «Костюм (куртка и полукомбинезон) утепленный специальный с двумя утеплителями и съемным капюшоном, камуфлированной цифровой расцветки «осень-зима».

В пакетах использованы материалы: куртка (верх) - ткань полиэфирная ветровлагозащитная гладкокрашенная арт. ПСЗО-1/2, прокладка - ткань ветрозащитная арт. НТУТ-5/2М, утеплитель – 2 слоя, подкладка - ткань подкладочная полиэфирная с антистатической отделкой арт. НТУТ-5/4М; полукомбинезон (верх) – ткань полиэфирная ветровлагозащитная гладкокрашенная арт. ПСЗО-1/2, утеплитель – 1 слой, подкладка - ткань подкладочная полиэфирная с антистатической отделкой арт. НТУТ-5/4М; жилет (верх) - ткань полиэфирная ветровлагозащитная арт. ПСЗО-1/2 гладкокрашенная, утеплитель - 1 слой, подкладка - ткань подкладочная полиэфирная с антистатической отделкой арт. НТУТ-5/4М. В пакете № 1 использовали утеплитель – «PM-200», а в пакете № 2 – утеплитель – «PM-150».

Таблица 2 – Характеристики пакетов одежды с применением разработанного материала и других утеплителей

Показатели	Фактическое значение показателей многослойного пакета по образцам				Метод испытания
	Пакет №1	Пакет №2	Пакет № 1 с утеплителем «Холлофайбер ТЭК 200»	Пакет № 2 с утеплителем «Холлофайбер ТЭК 150»	
Поверхностная плотность, г/м ²	1979	1882	2123	1908	ГОСТ 3811-72 (ИСО 3932-76, 3801-77)
Толщина при давлении 0,5 кПа, мм	57,3	39,0	59,8	42,9	ГОСТ 12023-2003
Объемная плотность, кг/м ³	34,5	42,9	35,5	43,9	ГОСТ 15902.2-2003
Воздухопроницаемость при давлении 49 Па, дм ³ /(м ² с)	11	9	8	7	ГОСТ 12088-77
Суммарное тепловое сопротивление, м ² ·°С/Вт	0,68	0,53	0,67	0,51	ГОСТ 7076-99

Таблица 3 – Результаты испытаний миграции волокон у пакетов одежды с применением различных видов утеплителей

Структура пакета и утеплителя			Количество мигрировавших волокон на площади 150 см ² , шт.	
Ткань верха	Ткань подкладки	Пакеты	На верх	На подкладку
Ткань полиэфирная ветровлагозащитная гладкокрашенная арт. ПСЗО-1/2	Ткань подкладочная полиэфирная с антистатической отделкой арт. НТУТ-5/4М	Пакет № 1 с утеплителем НТУТ-5/5ФУ – 150 г/м ²	1	4
Тоже	Тоже	Пакет № 1 с утеплителем НТУТ-5/5ФУ – 200 г/м ²	0	2
Тоже	Тоже	Пакет № 1 с утеплителем «PM-200»	0	0
Тоже	Тоже	Пакет № 2 с утеплителем «PM-150»	0	0
Тоже	Тоже	Пакет № 1 с утеплителем «Холлофайбер ТЭК 200»	0	1
Тоже	Тоже	Пакет № 2 с утеплителем «Холлофайбер ТЭК 150»	0	1

По результатам исследований экспериментально установлены более упругие характеристики и отсутствие мигрировавших волокон в пакетах одежды у разработанного материала по сравнению с применением нетканых материалов, указанных в нормативной документации и других известных аналогов.

По результатам исследований экспериментально обосновано применение разработанных утеплителей в спецодежде поверхностной плотностью 150 и 200 г/м², которые обладают оптимальным комплексом свойств.

В четвертой главе произведен расчет и прогнозирование теплофизических свойств нетканых утеплителей, который связан с направленным выбором их структуры.

Для расчета коэффициента теплопроводности проведено моделирование структур разных теплоизоляционных материалов на базе уже существующих их разновидностей, причем наиболее полно такие модели представлены для дисперсных материалов с упорядоченным расположением элементов. Модель состоит из плоских, поочередно сменяющих друг друга слоев –

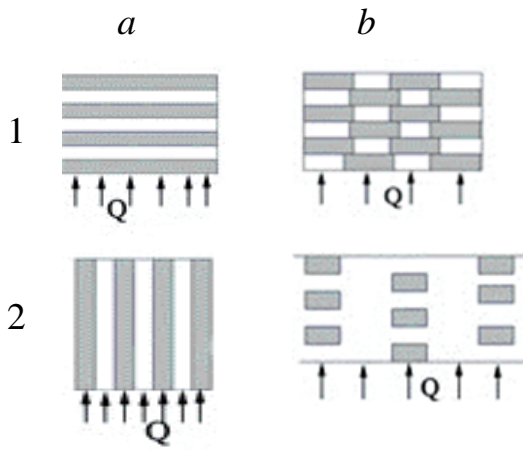


Рисунок 2 – Модели дисперсного материала из плоских элементов, где Q – тепловой поток направлен к плоскости пластин:
1 – перпендикулярно; 2 – параллельно

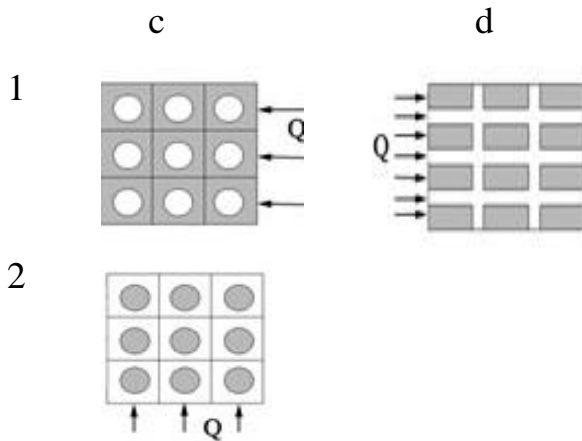


Рисунок 3 – Модели дисперсного материала с непрерывной фазой:
1 – перпендикулярно; 2 – параллельно

В волокнистых средах структурные элементы и газ, находящийся в порах, всегда контактируют между собой, поэтому представление о твердой фазе как о некой решетке (упорядоченной структуре), отделяющей поры, несколько упрощенно и применение таких моделей возможно только при использовании определенных теплоизоляционных материалов.

Усовершенствованная объемная модель – это модель дисперсного материала, представленного в виде куба, стенки которого являются совокупностью структурных элементов, а газовая фаза образует внутреннюю полость, соответствующую суммарному объему пор в материале.

В зависимости от способа укладки структурных элементов как сферических или цилиндрических частиц определено, что пористость дисперсного материала

структурные элементы и воздух (рис. 1a), а также элементы могут быть расположены в шахматном порядке, а поровое пространство – промежутки между ними (рис. 1b). Однако, полученные при этом зависимости коэффициента теплопроводности материала от теплопроводности каждой из фаз и пористости материала, дают значительные расхождения с экспериментальными данными.

В модели Н.В. Russel поры, имеющие шарообразную форму (рис. 2c), либо равномерно распределены в твердой фазе – 1, либо твердая фаза в виде шаров – в непрерывной газовой – 2.

При замене шарообразной формы пор на кубическую равномерно, распределенную в твердой фазе получают новую модель (рис. 1d)

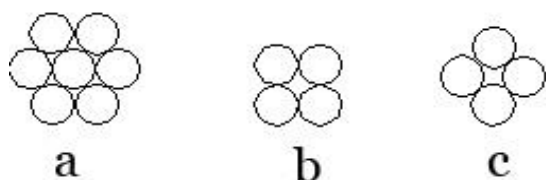


Рисунок 4 – Способы укладки структурных элементов дисперсного материала:

а – гексагональная; б – кубическая;
с – ромбическая

не зависит от диаметра частиц, а определяется видом их укладки: при кубической и ромбической – 47,64%, гексагональной – 25,95%. Соответственно предпочтительно использовать кубическую и ромбическую укладки структурных элементов. Из вышеизложенного можно

сделать вывод, что моделирование структур материалов производится с определенными допущениями (заранее известные формы и взаимодействия структурных элементов), поэтому теоретические вычисления эффективного коэффициента теплопроводности являются крайне приближенными.

При формировании пакетов с заданными теплофизическими характеристиками, необходимо применять системный подход, в соответствии с которым система характеризуется тремя принципиальными моментами: во-первых, в совокупность вовлекаются только специально выбранные компоненты; во-вторых, компоненты не просто взаимодействуют, а взаимодействуют для чего-то конкретного и определенного; в-третьих, в качестве системообразующего фактора фиксируется получение полезного результата.

В полотнах, в основном, используются волокнистые слоистые материалы, обладающие определенной упругостью и остаточной деформацией. Частицы перемещаются между элементами в объеме, который задается размерами пакета, причем площадь этого пакета остается постоянной, а объем может изменяться за счет упругости самого пакета, то есть необходимо рассчитать величину заполнения и пористости в зависимости от упругости пакета; определить взаимосвязи между частицами в пакете – установить тип связи в зависимости от вида материала и его формы; определить возможные расчетные значения коэффициента теплопроводности и сравнить с фактическими данными.

Система должна обладать необходимой упругостью (пластичностью) для того, чтобы обеспечить требования сохранения воздушной прослойки в пакете, и в то же время создать необходимое прилегание к телу человека. Таким образом, необходимо обеспечить переход от моносистемы (из однородных волокон и однообразной структуры), к бисистеме (использование бикомпонентных волокон) и далее к полисистеме (сложная структура из смеси разных волокон), что позволит перенести функции с одного объекта на другой.

Ни один из существующих методов расчета эффективного коэффициента теплопроводности нетканого теплоизоляционного материала не учитывает условий эксплуатации, а также хаотическое расположение волокон в клееных, термоскрепленных, иглопробивных нетканых полотнах. При разработке нового метода можно представить нетканый материал как вязкоупругую сплошную среду, состоящую из волокон и имеющую капиллярно-пористое строение.

Установлено, что с увеличением объемной плотности дисперсного материала возрастает и коэффициент теплопроводности, что позволяет применить для анализа теплофизических свойств материала степенную зависимость (1):

$$\lambda_{\text{эф}} = L \cdot \rho^m, \quad (1)$$

где: $\lambda_{\text{эф}}$ – эффективный коэффициент теплопроводности; ρ – плотность материала; L – коэффициент пропорциональности; m – показатель, характеризующий степень нелинейности функции.

Конкретные величины плотностей различных материалов варьируются в широком диапазоне значений ($0 < \rho < \infty$) и точно задать верхний предел сложно, поэтому целесообразнее рассматривать следующую зависимость (2):

$$\lambda_{\text{эф}} = L \cdot (\rho_M/\rho_B)^m, \quad (2)$$

то есть $\lambda_{\text{эф}} = F(\rho_M/\rho_B)$,

где: ρ_M, ρ_B – плотности материала и структурных элементов соответственно.

В случае, когда объемная пористость материала близка к 100 % величина $\rho_M/\rho_B \approx 0$ и, наоборот, при минимально возможной пористости значение ρ_M/ρ_B приближается к единице, т.е. $\rho_M \approx \rho_B$.

Для вычисления значений $\lambda_{\text{эф}}$, ρ_M/ρ_B , L и m используется метод исследования на экстремум заданной функции при наличии дополнительных условий (3):

$$F\left(\frac{\rho_M}{\rho_B}\right) = \begin{cases} 0 & \text{при } \rho_1 \leq \frac{\rho_M}{\rho_B} \leq \rho_2 \\ \left(\frac{\rho_M}{\rho_B} - \rho_2\right) & \text{при } \frac{\rho_M}{\rho_B} \geq \rho_2 \\ \left(\rho_1 - \frac{\rho_M}{\rho_B}\right) & \text{при } \frac{\rho_M}{\rho_B} \leq \rho_1 \end{cases} \quad (3)$$

где: ρ_1, ρ_2 – величины отношения ρ_M/ρ_B соответственно при минимальном λ_1 и максимальном λ_2 значениях эффективного коэффициента теплопроводности.

λ_1 и λ_2 зависят от плотности волокон, толщины и пористости материала и среды, заполняющей его поровое пространство.

При максимальной пористости ($0 < \rho_M/\rho_B \leq 0,05$) эффективный коэффициент теплопроводности материала практически равен коэффициенту теплопроводности среды, в данном случае воздуха, который при атмосферном давлении $P = 1,01 \cdot 10^5$ Па и температуре $t_{\text{воз}} = 0$ °С равен $\lambda_{\text{воз}} = 0,0259$ Вт/(м·К).

Соответственно определены искомые величины, позволяющие рассчитать оптимальное значение $\lambda_{\text{эф}}$ (4):

$$\lambda_{\text{эф}} = 0,977 \cdot (\rho_M/\rho_B)^{1,113} \quad (4)$$

Следует отметить, что предложенный метод расчета требуемых значений эффективного коэффициента теплопроводности в зависимости от плотности дисперсной среды справедлив для всех материалов, имеющих капиллярно-пористую или пористую структуру.

С целью оценки правомерности применения аналитических зависимостей для расчета эффективного коэффициента теплопроводности $\lambda_{\text{эф}}$ были проведены экспериментальные исследования нетканого полотна.

Таблица 4 – Расчетные данные для определения эффективного коэффициента теплопроводности

Расчетные значения коэффициента пропорциональности (L) и показателя степени нелинейности функции (m) при заданных значениях $t_{\text{возд}}$ и $\lambda_{\text{возд}}$				Эффективный коэффициент теплопроводности $\lambda_{\text{эф}}$, Вт/(м·К)		Относительная погрешность ε , %
температура воздуха, $t_{\text{возд}}$, °С	коэффициент теплопроводности воздуха, $\lambda_{\text{возд}}$, Вт/(м·К)	L	m	расчетное значение	экспериментальное значение	
- 50	0,022	0,992	1,148	0,039	0,037	5,2
- 40	0,022	0,988	1,139	0,040	0,038	5,5
- 30	0,023	0,987	1,129	0,041	0,038	7,8
- 20	0,024	0,982	1,119	0,042	0,038	8,3
- 10	0,025	0,980	1,116	0,042	0,039	7,4
0	0,025	0,977	1,113	0,042	0,041	4,0
10	0,026	0,976	1,109	0,043	0,042	2,6

Отклонения теоретических результатов от экспериментальных данных находятся в пределах от 2,6 % до 8,3 %, что не превышает предельно допустимую погрешность измерений, и полностью подтверждает адекватность разработанной модели.

Для оценки теплосохраниющих свойств составных элементов были взяты элементы вышеуказанного утепленного костюма.

Таблица 5 – Тепловое сопротивление отдельных элементов верхней одежды для арктической зоны

Наименование элементов комплекта одежды	Поверхностная плотность, ρ_2 , г/м ²	Толщина при давл. 0,5 кПа, h , мм	Суммарн. тепловое сопрот., R_0 , м ² ·К/Вт	Темп. охлаждения, с	Пористость, Π , %	Объем. плотн., ρ_M , г/м ³	Кэфф. теплоп. λ , Вт/(м·К)
Пакет № 1 с утеплителем РМ-400	2100	63,2	0,74	1003	96,9	42,38	0,035
Пакет № 1 с утеплителем РМ-350	2050	61,3	0,72	1185	96,8	43,52	0,035
Пакет № 1 с утеплителем РМ-300	2000	60,2	0,70	1080	95,6	60,25	0,038
Пакет № 1 с утеплителем РМ-250	1980	58,0	0,69	948	94,3	79,16	0,042
Пакет № 1 с утеплителем РМ-200	1979	57,3	0,68	1145	94,1	81,20	0,043
Пакет № 1 с утеплителем РМ-150	1882	39	0,67	1026	93,8	85,55	0,043
Пакет 1 с утеплителем РМ-100	1800	38,0	0,56	807	92,8	99,11	0,046

Как видно из полученных результатов основное значение для теплосохраниющей способности иглопробивных нетканых утеплителей имеет объемная плотность материала, так, с ее повышением адекватно увеличивается эффективный коэффициент теплопроводности.

Из полученных результатов видно, что теплопроводность исследуемых образцов линейно зависит от их объемной плотности и пористости.

Численный анализ, проведенный при помощи табличного редактора Microsoft Excel, позволил установить следующие математические зависимости:

$$\lambda = 0,0002 \rho_M + 0,0263, \text{ достоверность аппроксимации } R^2 = 0,9999;$$

$$\lambda = -0,2856 \Pi + 0,3118, \text{ достоверность аппроксимации } R^2 = 0,9997.$$

На основании полученных данных произведены расчеты необходимой толщины пакетов теплозащитных изделий для разного температурного диапазона.

Считая, что в теплоизоляционном слое отсутствуют источники тепла и тепловой поток одномерный и стационарный, уравнение теплопроводности имеет вид (5):

$$\lambda = \frac{Q \cdot h}{F \cdot (t_m - t_{cp})}, \quad (5)$$

где: Q – тепловой поток (тепловыделения организма человека), Вт; h – толщина материала, м; F – площадь образца, 1 м²; t_m , t_{cp} – температуры тела и окружающей среды соответственно, °С.

Для комфортных условий работы необходимо, чтобы тепловыделение организма равнялось его теплоотдаче, при этом температура внутренних органов человека остается постоянной (около 36,6 °С). Следовательно (6):

$$h = \frac{\lambda \cdot (36,6 - t_{cp})}{Q} \quad (6)$$

Согласно полученной модели ($\lambda = 0,0002 \rho_M + 0,0263$) был произведен расчет толщины теплоизоляции одежды при легкой и средней тяжести физической работе для значений температуры окружающей среды от -10 до -50°С в зависимости от плотности теплоизолирующего текстильного материала.

ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

1. Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что разработана концепция создания и научного обоснования оптимальных комплектов одежды для арктической зоны на базе системного подхода к структуре пакета утеплителя.

2. Исследованы особенности расчета эффективного коэффициента теплопроводности для разных структурных моделей волокнистых и дисперсных утеплителей и составляющих ее элементов.

3. Получены новые сравнительные данные о структурных, механических теплофизических свойствах нетканых утеплителей, используемых в современной одежде для арктической зоны.

4. Предложена модель прогнозирования теплофизических свойств и толщины нетканого волокнистого полотна на основе экспериментально полученных регрессионных моделей температурной зависимости эффективного коэффициента теплопроводности, расширяющая границы применимости полученных результатов.

5. Исследованы характеристики, определяющие сохраняемость пакетов при эксплуатации - упругость при многократном смятии (неизменная толщина пакета), миграция волокна.

6. Доказано, что для сохранения теплозащитных свойств пакета должна сохраняться его толщина, а упругость не менее 70 %. На основании выполненных исследований предложен метод определения однократного и многократного сжатия, введенный в ГОСТ Р 57027-2016 «Полотна нетканые термоскрепленные объемные синтетические. Общие технические условия».

7. Разработан нетканый теплозащитный материал, структура и волокнистый состав которого обеспечивает заданные показатели упругости при многократном

сжатию. Проведены исследования и установлен оптимальный состав и структура нетканого утеплителя и пакета материалов для спецодежды, используемой в арктической зоне.

8. Значение полученных результатов исследования для практики подтверждается тем, что на их основе подготовлено и утверждено изменение № 3 в нормативно-техническую документацию ТУ 8585-08894280-319-14 «Костюм (куртка и полукомбинезон) утепленный специальный с двумя утеплителями и съемным капюшоном, камуфлированной цифровой расцветки «осень-зима».

9. Произведена и подтверждена производственная и эксплуатационная проверка разработанных нетканых материалов, изделий из них и концепция их разработки. Проведена оценка теплового сопротивления элементов верхней одежды для особо холодных климатических условий. Представлены расчеты необходимой толщины пакетов теплозащитных изделий для разного температурного диапазона. Полученные теоретические модели использованы для определения толщины утеплителей для применения в защитной одежде при температурах окружающего воздуха -10, -20, -30, -40 и -50°С.

ОПУБЛИКОВАННЫЕ РАБОТЫ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи, опубликованные в журналах, рекомендуемых ВАК:

1. **Советников Д.А.** Ассортимент и области применения синтетических утеплителей / Д.А. Советников, В.Ю. Мишаков, И.Н. Жагрина, Г.К. Мухамеджанов / Дизайн и технологии – 2013. – № 34 (76). – стр. 62-69. (0,5/0,25 п.л.).

2. **Советников Д.А.** Исследование миграции волокон в пакетах одежды и способы ее устранения / Д.А. Советников, В.Ю. Мишаков, И.Н. Жагрина, Г.К. Мухамеджанов / Дизайн и технологии – 2014. – № 39 (81). – стр. 41-47. (0,5/0,20 п.л.).

3. **Советников Д.А.** Исследование утеплителей и пакетов одежды ведомственного назначения / Д.А. Советников, Э.В. Державин, В.Ю. Мишаков, Е.А. Кирсанова / Дизайн и технологии – 2015. – № 50 (92). – стр. 52-57. (0,5/0,20 п.л.).

4. **Советников Д.А.** Исследование теплозащитных свойств нетканых утеплителей в пакетах одежды / Д.А. Советников, В.Ю. Мишаков, Е.А. Кирсанова, М.Ю. Трещалин / Дизайн и технологии – 2016. – № 56 (98). – стр. 73-79. (0,5/0,20 п.л.).

5. **Советников Д.А.** Теоретическое исследование волокнистых материалов с целью расчета и прогнозирования теплофизических свойств / Д.А. Советников, В.Ю. Мишаков, М.А. Павлов, Е. А. Кирсанова., М.Ю. Трещалин / Дизайн и технологии – 2017. – № 57 (99). – стр. 86-90 (0,25/0,15 п.л.).

Статьи, опубликованные в других изданиях:

6. **Советников Д.А.** Теплоизоляционные материалы для одежды военнослужащих / Д.А. Советников, В.Ю. Мишаков, И.Н. Жагрина, Г.К. Мухамеджанов // Рабочая одежда. – М., 2013. – № 2 – С. 7-9. (0,19/0,05 п.л.).

7. Мухамеджанов Г.К. Теплозащитные свойства нетканых утеплителей / Г.К. Мухамеджанов, **Д.А. Советников** // Легкая промышленность. Курьер. – М., 2015. – № 1 – С. 10-11. (0,19/0,05 п.л.).

8. Мухамеджанов Г.К. О технических требованиях нетканых объемных синтетических полотен / Г.К. Мухамеджанов, **Д.А. Советников** // Легкая промышленность. Курьер. – № 6, ноябрь-декабрь 2015 г.//стр. 12-13 (0,19/0,05 п.л.).

Учебное пособие

9. Мухамеджанов Г.К. Нетканые утепляющие и формоустойчивые прокладочные материалы и наполнители для швейных изделий / Г.К. Мухамеджанов, В.Ю. Мишаков, И.Н. Жагрина, **Советников Д.А.**/ М., МГУДТ – 2016 г. – 60 стр.

Заявка на патент

Нетканый теплозащитный материал / **Советников Д.А.**, Державин Э.В., Мишаков В.Ю., Кирсанова Е.А./ Заявка поступила в Федеральную службу по интеллектуальной собственности, Федеральный институт промышленной собственности (ФИПС) 09.08.2016, вх. № 050790, рег. № 2016132781.

Национальный стандарт

Полотна нетканые термоскрепленные объемные синтетические. Общие технические условия / АО «Научно-исследовательский институт нетканых материалов (АО «НИИНМ»)/ ГОСТ Р 57027—2016, введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 25 августа 2016 г. № 945-ст // Москва, Стандартинформ, 2016 г. – 8 стр.

Советников Дмитрий Анатольевич

**РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ПАКЕТА МАТЕРИАЛОВ
ДЛЯ СПЕЦОДЕЖДЫ ВОЕННОСЛУЖАЩИХ,
ИСПОЛЬЗУЕМОЙ В АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ**

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

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