

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Российский государственный университет
им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)»
(ФГБОУ ВО «РГУ им. А.Н. Косыгина»)

На правах рукописи



КЛИМОВА НАТАЛИЯ АЛЕКСАНДРОВНА

**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СВОЙСТВ ТЕРМОРЕГУЛИРУЮЩИХ
МАТЕРИАЛОВ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПАКЕТОВ
ТЕПЛОЗАЩИТНЫХ ИЗДЕЛИЙ**

Специальность 05.19.01 - «Материаловедение производств текстильной и легкой
промышленности»

Диссертация

на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель:

доктор технических наук, профессор

Бесшапошникова Валентина Иосифовна

Москва – 2021

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА 1 АНАЛИЗ ДОСТИЖЕНИЙ В ОБЛАСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СВОЙСТВ ИННОВАЦИОННЫХ МЕМБРАННЫХ И УТЕПЛЯЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ.....	11
1.1 Научные основы формирования микроклимата пододежного пространства при проектировании утепляющих материалов и изделий...	11
1.2 Анализ требований, предъявляемых к материалам теплозащитной одежды.....	18
1.3 Анализ ассортимента, систематизация и разработка классификации утепляющих текстильных материалов для одежды.....	23
1.4 Анализ производства, структуры и ассортимента мембранных тканей для одежды.....	32
Выводы по главе 1.....	45
ГЛАВА 2 ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	46
2.1 Характеристика объектов исследования.....	46
2.2 Методы и методики экспериментальных исследований.....	50
Выводы по главе 2.....	56
ГЛАВА 3 ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ФАКТОРОВ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА МЕМБРАННЫХ ТКАНЕЙ ДЛЯ ОДЕЖДЫ.....	57
3.1 Определение значимости показателей качества текстильных материалов с мембранным покрытием.....	57
3.2 Исследование структуры и свойств мембранных материалов, формирующих пакеты утепленной одежды.....	65
3.3 Исследование кинетики прохождения влаги и изменения температуры пододежного пространства изделий из мембранных тканей.....	75
3.4 Прогнозирование паропроницаемости мембранных тканей.....	82
3.5 Исследование влияния низких температур на структуру и свойства мембранных тканей.....	85

3.6 Исследование влияния технологических факторов производства одежды на структуру и свойства мембранных тканей	90
Выводы по главе 3.....	96
ГЛАВА 4 РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ТЕРМООБОГРЕВАЕМЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ПАКЕТОВ ТЕПЛОЗАЩИТНЫХ ИЗДЕЛИЙ.....	98
4.1 Разработка электрообогреваемого композиционного текстильного материала в концепции создания терморегулируемой одежды.....	100
4.2 Разработка способа производства и исследование свойств электрообогреваемого композиционного текстильного материала для терморегулируемой одежды.....	108
4.3 Исследование и прогнозирование теплозащитных свойств утепляющих материалов разных производителей.....	112
Выводы по главе 4.....	127
Глава 5 РАЗРАБОТКА СТРУКТУРЫ И ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ПАКЕТОВ МАТЕРИАЛОВ ТЕРМОРЕГУЛИРУЕМОЙ УТЕПЛЕННОЙ ОДЕЖДЫ.....	129
5.1 Разработка структуры и исследование свойств пакетов материалов терморегулируемой утепленной одежды для людей с ограниченными возможностями движения.....	129
5.2 Исследование комфорта пододежного пространства при эксплуатации термообогреваемого чехла для прогулок инвалидов колясочников	139
Выводы по главе 5.....	150
ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ.....	151
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И ТЕРМИНАЛОГИИ	153
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	154
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	179

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы: Современное общество предъявляет высокие требования к текстильным материалам: они должны обладать специфическими свойствами, уметь варьировать и приспосабливаться к изменяющимся условиям эксплуатации и обеспечивать комфорт пододежного пространства, работоспособность и хорошее самочувствие человека, быть легкими и надежными. Существенный вклад в изучение вопросов, связанных с теплозащитными материалами и пакетами одежды, внесли такие ученые как: Колесников П.А., Бузов Б.А., Жихарев А.П., Бринк И.Ю., Алейникова О.А., Черунова И.В., Стефанова Е.Б., Михеев М.А., Родичева М.В. и другие ученые. Несмотря на это, некоторые вопросы остаются малоизученными, прежде всего благодаря появлению новых инновационных материалов. Однако создание инновационных текстильных материалов находится на стадии становления и развития, и информация об особенностях структуры и качестве мембранных и терморегулируемых материалов в основном носит рекламный характер.

Поэтому комплексное исследование инновационных мембранных тканей и разработанных терморегулируемых обогревающих материалов, формирующих пакеты теплозащитной одежды, прогнозирование свойств материалов, как на стадии проектирования, так и их изменения в процессе эксплуатации изделий, является одним из перспективных направлений текстильного материаловедения и развития отечественной легкой промышленности, что подтверждает актуальность диссертационного исследования на тему «Прогнозирование свойств терморегулирующих материалов и проектирование пакетов теплозащитных изделий».

Диссертационная работа выполнена в соответствии с планом НИР РГУ им. А.Н. Косыгина, пункт 3.12 «Разработка методов оценки и прогнозирования физико-механических свойств материалов специального назначения».

Объекты исследования – инновационные отечественные и импортные мембранные ткани, утепляющие, терморегулирующие материалы и пакеты одежды.

Предмет исследования – разработка новых инновационных термообогревающих материалов, оценка качества и прогнозирование их свойств.

Целью работы является выявление закономерностей и разработка структуры терморегулируемых обогревающих текстильных материалов и пакетов одежды.

Достижение поставленной цели потребовало решения следующих **задач**:

- анализ ассортимента и разработать классификацию современных утепляющих материалов для одежды;
- анализ требований и установить значимые показатели качества мембранных тканей и утеплителей одежды;
- разработать терморегулируемый обогревающий текстильный материал для теплозащитной одежды;
- установить взаимосвязь структуры и свойств мембранных тканей, термообогревающих и нетканых объемных утеплителей, которая позволит прогнозировать показатели качества, как на стадии проектирования изделий, так и их изменение в процессе эксплуатации изделий;
- установить влияние эксплуатационных факторов – низких температур, многократной стирки и деформаций сжатия на структуру и свойства утепляющих материалов, мембранных тканей и пакетов одежды;
- оценить кинетику процесса изменения влажности и температуры пододежного пространства изделий из отечественных и импортных мембранных тканей;
- разработать термообогревающий чехол для людей с ограниченными возможностями движения, способный обеспечить регулируемый комфорт пододежного пространства и эксплуатацию при минусовых температурах;
- получить справочные данные физико-механических, технологических и эксплуатационных свойств исследуемых отечественных и импортных

мембранных тканей, нетканых утеплителей одежды и разработанного терморегулируемого текстильного материала.

Научная новизна работы состоит в том, что:

- получена математическая зависимость паропроницаемости от параметров структуры и свойств мембранных тканей, которая позволяет прогнозировать свойства мембранных тканей на стадии их проектирования и изменения в процессе эксплуатации изделий;

- установлена зависимость изменения паропроницаемости и водоупорности от количества циклов криолиза мембранных тканей. Доказана более высокая устойчивость к многократному криолизу тканей с поровыми мембранами, по сравнению с тканями с беспоровыми мембранами;

- установлена зависимость теплового сопротивления от основных параметров структуры и свойств объемных нетканых утеплителей одежды, которая позволяет прогнозировать теплозащитные свойства теплозащитных материалов на стадии их проектирования и изменения в процессе эксплуатации изделий;

- установлена кинетика процесса изменения влажности и температуры пододежного пространства мембранных тканей отечественного и зарубежного производства;

- доказано, что исследуемые утеплители характеризуются высокой устойчивостью к деформациям многократного сжатия после многократного криолиза при температуре (-20) °С и после пятикратной мокрой обработки;

- разработана иерархическая классификация утепляющих материалов, в которой систематизированы инновационные пассивные и активные утеплители одежды, и учтены не только принципы функционирования, но и способы производства, структура, волокнистый состав, свойства и специальные виды отделки. Классификация позволяет рационально конфекционировать материалы в пакет одежды с учетом назначения изделий и требований нормативно-технической документации.

Теоретическая значимость работы заключается в установлении взаимосвязи структуры и свойств инновационных мембранных и утепляющих, в

том числе терморегулируемых материалов и пакетов одежды, вносят вклад в развитие теории проницаемости и теплового сопротивления, и позволяют прогнозировать свойства материалов, как на стадии их проектирования, так и в результате изменения свойств в процессе эксплуатации.

Практическая значимость работы:

- разработан термообогревающий текстильный материал, который обеспечивает равномерный регулируемый нагрев поверхности материала до температуры 28-40°C;

- разработан способ производства терморегулируемых текстильных материалов, наработана опытная партия материалов, исследованы свойства и определены области их применения;

- разработан пакет материалов и изготовлен чехол для людей с ограниченными возможностями движения. Доказано, что термообогреваемый чехол в режиме нагрева до 34-36°C, обеспечивает термальный комфорт в течение 2 и более часовой прогулки в коляске при температуре до (-10) °C и ниже. Опытная носка термообогреваемого чехла подтвердила комфортные термальные условия при эксплуатации ТОЧ;

- доказано повреждение мембраны в процессе стачивания деталей одежды, которое через 30 минут приводит к намоканию мембранной ткани, поэтому герметизация швов является обязательной и обеспечивает надежную защиту потребителя более чем на 24 часа;

- определена рациональная длина стежка при стачивании деталей одежды из мембранных тканей, при которой образуется надежный прочный шов, обеспечивающий качество изделий;

- получены справочные данные физико-механических и эксплуатационных свойств исследуемых отечественных и импортных мембранных тканей, и нетканых утеплителей, которые позволяют обоснованно формировать пакеты материалов для утепленной одежды. Разработанные пакеты материалов рекомендуются, как для людей с ограниченными возможностями движения, так и для изготовления спецодежды МЧС, нефтяников и других профессий, а также

бытовой одежды для эксплуатации в суровых условиях Крайнего Севера, Заполярья и Сибири.

Теоретические и экспериментальные результаты работы внедрены в учебный процесс подготовки магистров по направлению 29.04.02 «Технология и проектирование текстильных изделий». Способ производства термообогревающего текстильного материала внедрен на предприятии ООО «КВН СЕРВИС», что подтверждают акты апробации и внедрения.

Основные методы исследования. Исследования выполнялись на базе экспериментально-теоретических подходов с применением теории классификации, теории подобия и анализа размерностей, метода экспертных оценок и системного анализа. Экспериментальные исследования структуры и свойств осуществляли по стандартным и известным методам и методикам. Обработку данных осуществляли с помощью прикладной математики и математической статистики, а также графических, расчетных и аналитических средств MS Windows, MS Excel.

Основные положения, выносимые на защиту:

- 1) новые сведения о свойствах и параметрах структуры инновационных мембранных, терморегулируемых и утепляющих материалов и пакетов одежды;
- 2) разработанный способ производства и формирования структуры и свойств терморегулируемых материалов;
- 3) установленные зависимости прогнозирования показателей качества от параметров структуры и свойств материалов;
- 4) доказанное влияние производственных и эксплуатационных факторов на структуру и свойства исследуемых материалов одежды;
- 5) разработанные пакеты материалов, их свойства и назначения.

Диссертационная работа выполнена в соответствии с паспортом специальности 05.19.01 «Материаловедение производств текстильной и легкой промышленности» пунктов 1, 2, 3, 8.

Апробация работы. Основные результаты научных исследований докладывались и получили положительную оценку на:

Международной научно-технической конференции (Инновации-2016), (Инновации-2018), (Инновации-2020), Москва; Международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов «Инновационное развитие легкой промышленности», КНИТУ, Казань, 2016, 2017 и 2018 гг; Международной конференции «Церевитиновские чтения 2017», «Церевитиновские чтения 2019», «Церевитиновские чтения - 2020» Москва; Международной заочной научно-практической конференции «Техническое регулирование: базовая основа качества материалов, изделий и услуг», г. Шахты, 2017 и 2018 гг; Международной научно-технической конференции «Инновационные технологии в текстильной и легкой промышленности», Витебск, 2017 г; 51-й международной научно-технической конференции преподавателей и студентов, Витебск, 2018 г; Международной научной студенческой конференции «Инновационное развитие легкой и текстильной промышленности» (ИНТЕКС-2018), (ИНТЕКС-2019), (ИНТЕКС-2021). Москва; Международной научной конференции «Высокие технологии и инновации в науке» Москва, 2018; Международной научной конференции «Эргодизайн как инновационная технология проектирования изделий и предметно-пространственной среды: инклюзивный аспект», Москва, 2019; VIII международной научно-технической конференции «Перспективные полимерные композиционные материалы. Альтернативные технологии. Переработка. Применение. Экология» («Композит-2019»), г. Энгельс, 2019 г; Международном научно-техническом симпозиуме, Международном Косыгинском Форуме «Инженерные проблемы в производстве товаров народного потребления», Москва, 2019 г; Международной научной конференции, посвященной 110-летию со дня рождения профессора А.Г. Севостьянова. Москва, 2020 г; на Круглом столе с международным участием «Актуальные проблемы экспертизы, технического регулирования и подтверждения соответствия продукции текстильной и легкой промышленности», Москва, 2021; Международной научной конференции, посвященной 150-летию со дня рождения профессора Н.А. Васильева, Москва, 2021 г.

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 терморегулируемых материалов и изделий, проведении экспериментальных исследований и промышленной апробации.

Публикации. По результатам диссертационного исследования опубликовано 33 работ (лично автором 6,95 п.л.) из них: 3 статьи в журналах, входящих в «Перечень ВАК», 3 статьи в зарубежных научных журналах, из них: 1 статья в издании, входящем в базу цитирования Web of Science и 1 статьи в изданиях, входящих в базу Scopus, а также 26 статей в сборниках материалов докладов международных и всероссийских конференций.

Объем и структура диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав, выводов по работе, списка литературы и приложений. Работа изложена на 202 страницах машинописного текста, содержит 43 таблицы, 52 рисунка. Список литературы включает 232 наименования.

ГЛАВА 1 АНАЛИЗ ДОСТИЖЕНИЙ В ОБЛАСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СВОЙСТВ ИННОВАЦИОННЫХ МЕМБРАННЫХ И УТЕПЛЯЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ

1.1 Научные основы формирования микроклимата пододежного пространства при проектировании утепляющих материалов и изделий

Утепленная одежда выполняет защитную функцию, но при этом она должна обеспечивать тепловой баланс тела человека для нормального функционирования организма. Тепловое состояние человека напрямую влияет на его умственную работоспособность и сенсомоторные реакции, а иногда и на сохранение жизни. Несмотря на огромный ассортимент теплозащитной одежды, комплексное исследование инновационных текстильных материалов и разработка на этой основе принципиально нового пакета с повышенными теплозащитными и водоупорными свойствами и малой массой остаются весьма актуальными, поскольку не всегда данные изделия обеспечивают комфортное пребывание человека на холоде [1-2].

Вопросами проектирования теплозащитной одежды посвящены научные работы ученых Афанасьевой Р.Ф., Бузова Б.А., Колесникова П.А., Склянникова В.П., Бринк И.Ю., Алейниковой, О.А, Черуновой И.В., Стефановой Е.Б., Бешапошниковой В.И., Михеева М.А., Родичевой М.В. и др. ученых [1-22].

Организм человека является саморегулирующей системой, которая служит для поддержания постоянной температуры тела, благодаря физиологическому механизму. Этот механизм обеспечивает определенное соотношение количества образованного тепла (теплопродукции) и количества тепла отданного во внешнюю среду (теплоотдаче). Теплопродукция, в нормальных условиях, равна теплоотдаче [3-5].

Михеев М.А. в своих работах подробно рассмотрел вопросы оценки теплового состояния человека в рабочей одежде с различными теплофизическими свойствами, что помогло изложить теоретические основы расчета теплообмена

человека с учетом термических свойств пакетов одежды. В качестве расчетной модели человека в одежде, была принята полая цилиндрическая стенка, с внутренним источником теплоты начиная со слоя эпидермиса, осуществляющего передачу теплопроводностью до концентрически расположенных слоев одежды [6, 7].

В зависимости от особенностей и состояния организма, веса тела, возраста, пола, трудовой деятельности и т.д., а так же от условий внешней среды - температуры, влажности воздуха и т.д., зависит интенсивность теплопродукции. В состоянии покоя у человека наблюдается наиболее низкий расход энергии. Низкая температура среды вызывает повышение обмена, высокая - понижение [8].

Средние данные основного теплового обмена по данным П.А. Колесникова представлены в таблице 1.1 [9].

Таблица 1.1 - Средние данные о теплопродукции человека, Вт/м² [9]

Возраст, годы	Мужчины	Женщины
6-8	61,5	57,2
10-12	56,2	53,5
14-16	52,1	46,2
16-18	49,5	43,0
18-20	46,6	42,3
20-30	45,5	41,2
30-40	44,7	40,8
40-50	42,7	39,2
50-60	41,3	38,7
60-70	40,3	37,8
70-80	39,2	36,7

Существует ряд критериев по отдельным показателям, которые определяются с учетом энергозатрат при конкретном виде деятельности для определения фактической фазы теплового состояния человека. Тепловое состояние человека различают как: оптимальное, допустимое, предельно допустимое, не допустимое [10, 11].

Критерии допустимого теплового состояния человека для продолжительности работы не более трех часов за рабочую смену представлены в таблице 1.2.

Таблица 1.2 - Критерии предельно допустимого теплового состояния человека (нижняя граница) при трех часовом пребывании на холоде за смену

№ пп	Показатель теплового состояния человека	Энерготраты, Вт/м ²				
		69	87	113	145	177
1	Температура тела ректальная, T_p , °С	36,9	37,1	37,2	37,5	37,7
2	Средневзвешенная температура кожи T_k , °С	31,0	30,5	29,5	28,5	27,5
3	Средняя температура тела T_t , °С	34,4	34,4	34,4	34,4	34,4
4	Изменение теплосодержания, $\Delta Q_{ТС}$, кДж/кг	4,82	4,82	4,82	4,82	4,82
5	Увеличение частоты сердечных сокращений, $\Delta ЧСС$, уд/мин.	4	5	8	12	22
6	Влагопотери ΔP , г/ч	не характерны				
7	Теплоощущения, T_0 , баллы	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
8	Разность между температурой кожи груди и стопы ($T_{кг}-T_{кс}$), °С	не характерны				
9	Температура тыла кисти $T_{тк}$, °С	24,0	23,5	23,0	22,5	22,0
10	Температура тыла стопы $T_{тк}$, °С	27,0	26,5	26,0	25,5	25,0

Организм человека находится в непрерывном взаимодействии внутреннего источника тепла с окружающей средой. Тепловой баланс организма поддерживается за счет отдачи теплоты: излучением - 44%, конвекцией - 1%, испарением - 22%, теплопроводностью - 2%, дыханием - 31% [9, 10, 11, 12].

С ростом нагрузки кардинально изменяется распределение тепловых потоков в организме. В теплоотдачу основной вклад вносит потоотделение. Один литр пота у человека массой 75 кг способен понизить температуру тела на 10°С. При среднем количестве тепла 10450-12500 кДж, освобождаемом человеком в сутки, достаточно выделения и испарения 5-6 л пота, чтобы обеспечить постоянство температуры тела [13].

При экстремальной температуре окружающей среды оценивают внешнюю тепловую нагрузку Q_L , которая представляет собой суммарную величину теплового потока излучением, кондукцией и конвекцией. Внешняя тепловая нагрузка и теплоотдача в сумме составляют общую тепловую нагрузку человека. При физической работе в формулу теплового баланса вводят величину теплового эквивалента внешней физической работы Q_w [12, 13].

Энергозатраты зависят от дыхательного коэффициента: $Q_n=f(D_k, E)$ и физической нагрузки, и определяются по формуле:

$$Q_n = \frac{0,292((0,87 - 0,2D_k)D_k \cdot 10^{-4}) \cdot E}{1,708 \cdot 10^{-4} - \left(\frac{D_k - 0,707}{0,292}\right) \cdot 1,23 \cdot 10^{-5}}; \quad (1.1)$$

$$E=87 \div 1050 \text{ Вт.}$$

Энергозатраты, в зависимости от потребляемого кислорода, рассчитываются по формулам (1.2-1.4).

$$Q_n = \frac{0,292M_{O_2}}{1,708 \cdot 10^{-4} - \left(\frac{D_k - 0,707}{0,292}\right) \cdot 1,23 \cdot 10^{-5}}. \quad (1.2)$$

$$M_{O_2} = (0,87 - 0,2D_k) \cdot D_k \cdot 10^{-4} \text{ кг/кДж.} \quad (1.3)$$

$$M_{CO_2} = (1,2 - 0,275D_k) \cdot D_k \cdot 10^{-4} \text{ кг/кДж.} \quad (1.4)$$

где M_{O_2} – масса потребляемого кислорода, D_k – дыхательный коэффициент.

Результаты расчета теплотрат приведены в таблице 1.3. Отношение общего уровня энергозатрат к уровню энергозатрат кожи составляет 0,08 [10, 12].

Таблица 1.3 - Результаты оценки энергозатрат в зависимости от физической нагрузки [10, 12]

Характер физической нагрузки	Общие энергозатраты, Вт	Средний дыхательный коэффициент, D_k
Покой	87...105	0,84
Легкая	105...175	0,84
Средняя	175...350	0,85
Тяжелая	350...525	0,87
Очень тяжелая	525...700	0,88
Чрезвычайно тяжелая	700...875	0,90
Изнурительная	875...1050	0,95

Установлено [14], что при дефиците тепла в организме от 2,72 до 2,82 кДж/кг, образующемся в результате снижения температуры, наблюдается умеренное напряжение реакций терморегуляции и снижение физической работоспособности от 6,4% до 18%. При дефиците тепла в организме в диапазоне 4,2-6,2 кДж/кг, такое охлаждение принято считать существенным, поскольку приводит к сильному напряжению реакций терморегуляции, работоспособности и

нарушению здоровья при хроническом воздействии холода. Нормированные значения дефицита и накопления тепла в организме человека представлены в таблице 1.4 и таблице 1.5.

Таблица 1.4 - Дефицит тепла в организме человека при различной степени охлаждения

Степень охлаждения	Величина дефицита тепла (кДж) по данным					
	А.И. Бекетова	Р.М. Кнежевича	В.И. Кричагина	Р.Ф. Афанасьевой и С.Г. Окуновой	Средняя	Общий запас тепла, в %
Прохладно	167-268	147-243	126-167	159-167	167	2,1-2,5
Холодно	364-414	293	293-377	322-377	395	4-4,6
Очень холодно	419-732	339-389	754-837	469-565	578	6-6,8

Таблица 1.5 - Накопление тепла в организме человека при различной степени перегрева

Степень охлаждения	Величина накопления тепла (кДж), по данным				
	А.И. Бекетова	Р.М. Кнежевича	В.И. Кричагина	Бельтинга, Хэтчи, Шербергера и др.	Средняя
Тепло	63-209	50-71	147-193	Нет	Около 126
Жарко	218-389	Нет	До 356	264	Около 293
Очень жарко	377-511	Нет	Свыше 364	Нет	Более 364-377

Допустимое тепловое состояние человека характеризуется незначительными общими и/или локальными дискомфортными теплоощущениями, сохранением термостабильности организма в течение всей рабочей смены или в течение всего периода трудовой деятельности при умеренном напряжении механизмов терморегуляции [10].

Пододёжный микроклимат характеризуется температурой, влажностью воздуха и содержанием углекислоты. Большое влияние на состояние пододежного микроклимата оказывают свойства материалов, влияющие на газовый состав пододежного пространства, на влажность кожи и воздуха под одеждой, и прежде всего свойства, обеспечивающие тепловую изоляцию организма человека от

воздействия высоких или низких температур окружающей среды. Температура пододежного пространства имеет большое значение для физиологических функций человека, его самочувствия и работоспособности [8].

Для человека наступает комфортное состояние тогда, когда он находится в состоянии физического покоя (в положении сидя). Считается, что при таком состоянии температура должна быть 30-32°C (в области туловища), для человека, который выполняет тяжелую физическую работу 15°C. Однако для различных климатических условий комфортная температура пододежного микроклимата различна: так, для холодного времени года она может быть равна 18-24°C, для жаркого 24-28°C. При этом температура кожи должна находиться в интервале 33-34°C. Но при проектировании одежды необходимо иметь в виду, что температура кожи на различных участках тела человека не одинакова, что наглядно показано на рисунке 1.1 [15, 16].

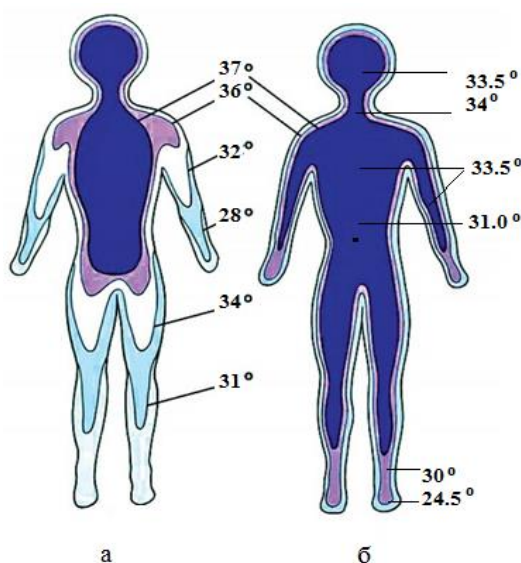


Рисунок 1.1 - Температура кожи на различных участках тела человека:

а – со спины; б – с перед

Тепловое состояние организма зависит и от возможности материалов одежды поглощать и отдавать парообразную и жидкую влагу. В условиях теплового комфорта в пододежном пространстве влажность воздуха должна быть в пределах от 35 до 60%, в зависимости от температуры окружающего воздуха. Так влажность пододежного пространства составляет около 60% при температуре

окружающего воздуха 17°C. При повышении температуры атмосферного воздуха до 24°C влажность воздуха в пододежном пространстве уменьшается до 40%. Когда температуры воздуха возрастает до 30-32°C, человек активно начинает потеть, при этом влажность воздуха в пододежном пространстве возрастает до 90-95%, и человек чувствует себя некомфортно - очень жарко.

Таким образом, конфекционирование материалов и конструкция одежды должны быть спроектированы так, чтобы обеспечили влажность пододежного пространства на уровне (35%-60%) и температуру – 27-33°C [17].

Теплозащитные свойства одежды и комфорт пододежного пространства также зависит от теплофизических свойств материалов, воздуха- и влагопроницаемости, сорбционных и других свойств материалов пакета одежды. Теплопроводность, λ , является важнейшим показателем материалов, определяющим тепловое сопротивление одежды. Теплоизоляционные свойства пакетов материалов существенно зависят от числа слоев в пакете, толщины каждого слоя и пакета в целом (включая толщину воздушных прослоек), волокнистого состава и воздухопроницаемости материалов пакета. При этом значимость перечисленных факторов существенно зависит от условий внешней среды: влажности воздуха, температуры и скорости ветра. Значительное влияние на тепловое сопротивление пакетов материалов оказывает величина воздушных прослоек, роль которых возрастает при уменьшении толщины пакета материалов (таблица 1.6) [18, 19].

Таблица 1.6 - Соотношение теплового сопротивления воздушных прослоек и материалов в тепловом сопротивлении одежды, %

Область тела, защищенная одеждой	Толщина пакета материалов, мм							
	6		11		23		36	
	Материал	воздушная прослойка	Материал	Воздушная прослойка	Материал	Воздушная прослойка	Материал	Воздушная прослойка
Голова	95	5	-	-	-	-	-	-
Туловище	21	79	25	75	35	65	45	55
Плечо	20	80	28	72	37	63	63	37
Кисть	44	56	47	53	77	23	-	-
Бедро	24	76	28	72	43	67	59	41
Голень	42	58	37	63	60	40	75	25
Стопа	40	60	43	57	65	35	-	-

Из таблицы 1.6 следует, что тепловое сопротивление воздушных прослоек в пакетах материалов различной толщины и на различных участках поверхности тела занимает от 5 до 80% суммарного теплового сопротивления пакета. Обеспечение оптимального стабильного соотношения между тепловым сопротивлением воздушных прослоек и материалов в пакетах одежды представляет собой важную задачу. Увеличение толщины пакета материалов путем добавления дополнительных слоев, приводит к уменьшению толщины воздушных прослоек, и может не привести к ожидаемому росту теплозащитных свойств пакета [19, 20, 21, 22].

В зависимости от вида и конструкции утепленной одежды (куртка, пальто или комбинезон) определяется роль воздушных прослоек в тепловом сопротивлении. Одежда открытой конструкции (например, пальто с отлетной подкладкой) уменьшает эффективность толщины пакета материалов и ее роль в обеспечении теплового сопротивления одежды в целом.

Таким образом, при проектировании теплозащитной одежды и обеспечения теплового комфорта, одежда должна удовлетворять требованиям, которые обусловлены, прежде всего, физиологическими функциями организма человека, условиями эксплуатации одежды и её назначением.

1.2 Анализ требований, предъявляемых к материалам теплозащитной одежды

Благодаря совершенствованию и развитию современных технологий все шире в качестве утеплителя одежды используются синтетические объемные нетканые материалы для защиты человека от холода. Такая тенденция обусловлена особой структурой и теплосберегающими характеристиками инновационных полых и бикомпонентных волокон, а также извитой и хаотично закрученной структурой волокон, придающей высокую упругость и объем полотнам. Нетканые утеплители одежды по физико-механическим показателям должны соответствовать требованиям ГОСТ Р 57027-2016, представленным в таблице 1.7.

Таблица 1.7 - Физико-механические показатели полотна

Наименование показателя	Нормативное значение
1. Поверхностная плотность, M_s , г/м ²	От 100 до 400
2. Толщина при давлении 0,2 Н (кПа), мм	От 3,5 до 10,0
3. Неровнота по массе, K_b (%), не более	8
4. Воздухопроницаемость, дм ³ /м ² ·с	От 1000 до 1900
5. Суммарное тепловое сопротивление $R_{сум}$, м ² ·°С/Вт	От 0,25 до 0,45
6. Изменение линейных размеров после замочки или химической чистки U (%), не более: длина /ширина	2,5
7. Устойчивость к многократному сжатию, %, не менее	70

Технический регламент ТР ТС 019/2011 [23] определяет деление регионов РФ на климатические зоны, которые должны учитываться при проектировании одежды, в том числе, спецодежды.

По ГОСТ 12.4.303-2016 одежда, эксплуатируемая в различных климатических поясах (регионах) Российской Федерации [24], подразделяется по уровню теплозащитных свойств на четыре класса защиты:

- 1-й класс защиты - II-III климатические пояса (регионы III-IV);
- 2-й класс защиты - III климатический пояс (регион II);
- 3-й класс защиты - IV климатический пояс (регион IB);
- 4-й класс защиты – «особый» климатический пояс (регион IA).

Таблица 1.8 - Нормативные значения суммарного теплового сопротивления пакета спецодежды (ГОСТ 12.4.303-2016)

Класс защиты	Климатический пояс (регион)	Температура воздуха зимних месяцев, °С	Нормативное значение суммарного теплового сопротивления, м ² ·°С/Вт, не менее	
			Плечевое, плече-поясное изделие	Поясное изделие
4	«Особый» (IA)	-25	0,77	0,69
3	IV (IB)	-41	0,83	0,80
2	III (II)	-18	0,64	0,57
1	II-I (III-IV)	-9,7	0,51	0,50

Теплозащитные свойства спецодежды характеризуются суммарным тепловым сопротивлением пакета материалов и теплоизоляцией комплекта СИЗ. Нормативные значения суммарного теплового сопротивления пакета

применяемых в спецодежде материалов, определяемые по ГОСТ Р 12.4.236-2011 [24] и по ГОСТ 20489-75 [25], должны соответствовать требованиям, указанным в таблице 1.8. Теплоизоляция комплекта СИЗ, определяемая по ГОСТ Р 12.4.236-2011 [24], в зависимости от условий эксплуатации должна соответствовать требованиям, указанным в таблице 1.9.

Таблица 1.9 - Нормативное значение теплоизоляции комплекта СИЗ [24]

Класс защиты	Климатический пояс (регион)	Температура воздуха ¹ зимних месяцев, °С	Скорость ветра ² в зимние месяцы, м/с	Нормативное значение теплоизоляции комплекта СИЗ ² , °С·м/Вт			
				при воздухопроницаемости материала верха, дм ³ /(м ² ·с)			
				10	20	30	40
4	«Особый» (IA)	-25	6,8	0,669	0,714	0,764	0,823
3	IV (1Б)	-41	1,3	0,744	0,752	0,759	0,767
2	III (II)	-18	3,6	0,518	0,534	0,551	0,569
1	II-I (III-IV)	-9,7	5,6	0,451	0,474	0,500	0,528

¹ Наиболее вероятные температура воздуха и скорость ветра соответствующего климатического пояса (региона).

² Теплоизоляцию комплекта СИЗ определяют в условиях естественной конвекции воздуха с участием человека или термоманекена, находящегося в положении стоя.

Значения суммарного теплового сопротивления пакета материалов установлены при воздухопроницаемости материала верха не более 40 дм³/(м²·с). При использовании материала верха с воздухопроницаемостью более 40 дм³/(м²·с) в пакете материалов допускается дополнительно использовать ветрозащитную прокладку с паропроницаемостью не менее 4,0 мг/(см²·ч) [24].

Норматив теплоизоляции комплекта СИЗ установлен применительно к трехчасовому пребыванию на холоде. Теплоизоляцию комплекта СИЗ в условиях, отличных от указанных в таблице 1.9, определяют расчетным методом. Для обеспечения должной защиты всех областей тела человека от охлаждения теплоизоляция комплекта СИЗ должна быть распределена в соответствии с коэффициентами, приведенными в таблице 1.10 [24]. Требования к теплозащитным свойствам спецодежды установлены на уровне «допустимого теплового состояния», при котором сохраняются работоспособность и здоровье работающего при регламентации времени непрерывного пребывания на холоде, представлены в таблице 1.11 [24].

Таблица 1.10 - Коэффициенты для определения теплоизоляции комплекта СИЗ на различных участках поверхности тела человека [24]

Область тела	Теплоизоляция комплекта СИЗ (верхняя граница), °С·м ² /Вт		
	0,556	0,792	>0,792
Голова	0,50	0,49	0,39
Туловище	1,26	1,31	1,45
Плечо и предплечье	1,13	1,24	1,23
Кисть	0,74	0,66	0,55
Бедро и ягодицы	1,13	1,08	1,07
Голень	0,90	0,81	0,86
Стопа	0,83	0,77	0,59

Таблица 1.11 - Требования к физико-механическим свойствам СИЗ [24]

Наименование показателя	Нормативное значение показателя	Метод испытания
1	2	3
Материал верха		
Разрывная нагрузка, Н, не менее: основа/уток	600/400	ГОСТ 3813
Изменение размеров после мокрой обработки %, не более: основа/уток	-3,5/±2,0	ГОСТ 30157
Водопроницаемость, Па, не менее	8000	ГОСТ 12.4.263
Изменение водопроницаемости после 5 стирок, %, не более	10	ГОСТ 12.4.263 и ГОСТ 11209
Морозостойкость, не выше	-40 °С	ГОСТ 15162
Раздирающая нагрузка, Н, не менее, основа/уток	30/25	ГОСТ 3813
Воздухопроницаемость ¹ , дм ³ /(м ² ·с), не более	40	ГОСТ 12088
Водоотталкивание, усл.ед, не менее: В исходном виде / после стирки (химчистки)	90/80	ГОСТ 28486
Стойкость к истиранию ² , цикл, не менее, Трикотажа / тканей Искусственных кож / кожи	350/500 1600/7000	ГОСТ 12739 ГОСТ 15967 ГОСТ Р 51552
Паропроницаемость ³ , мг/ (см ² ·ч), не менее	4,0	ГОСТ 22900
Материалы подкладки		
Разрывная нагрузка, Н, не менее: основа/уток	200/150	ГОСТ 3813
Воздухопроницаемость, дм ³ /(м ² ·с), не более	100	ГОСТ 12088
Гигроскопичность, %, не менее	7,0	ГОСТ 3816
Изменение размеров после мокрой обработки, %, не более: основа/уток	-3,5/±2,0	ГОСТ 30157
Устойчивость окраски к физико-химическим воздействиям, не ниже: к стирки, поту, сухому трению, и химчистки органическими растворителями	прочная	ГОСТ 7913, ГОСТ 20272 ГОСТ 9733
Теплозащитная прокладка спецодежды 3-го и 4-го классов защиты		
Содержание натуральных волокон (хлопок, шерсть) в одном из слоев ¹ , %, не менее	50	
¹ В том числе при использовании ветрозащитной прокладки; ² кроме материалов с покрытием; ³ для материалов с покрытием (пленочным, вспененным и др.)		

Мембранные ткани относятся к ассортименту плащевых и курточных материалов. В соответствии ГОСТ 28486-90 «Ткани плащевые и курточные из синтетических нитей. Общие технические условия» [26], ткани по физико-механическим показателям должны соответствовать нормам, указанным в таблице 1.12.

Таблица 1.12 Требования к физико-механическим свойствам плащевых и курточных материалов, ГОСТ 28486-90

Наименование показателя	Норма для тканей			
	с пленочным покрытием в три слоя	с пленочным покрытием в один слой	с водоотталкивающей отделкой	без пленочного покрытия и без водоотталкивающей отделки
1	2	3	4	5
1. Поверхностная плотность, г/м ²	50-130	50-130	50-180	50-180
2. Ширина, см	120; 140; 145; 150; 160; (100; 110; 115); 80*; 85*; 90*; 95*			
3. Разрывная нагрузка полоски ткани размером 50x200 мм, даН (кгс), не менее:				
	по основе:	39 (40)	39 (40)	34 (35)
по утку:	24 (25)	24 (25)	24 (25)	20 (20)
4. Раздирающая нагрузка, даН (кгс), не менее	1,3 (1,3)	1,5 (1,5)	-	-
5. Стойкость к раздвигаемости нитей, даН (кгс), не менее	-	-	1,3	-
6. Водоотталкивание, усл.ед., не менее	80	70	50	-
7. Водонепроницаемость мм вод.ст., не менее, до стирок:				
	700	115	-	-
после трех стирок**	200	-	-	-
8. Адгезия, баллы не менее**	4	-	-	-
9. Изменение размеров после мокрой обработки, %, не более:				
	по основе:	3,0**	3,0	3,0
по утку:	2,0**	2,0	2,0	2,0

* Норма допускается по согласованию изготовителя с потребителем.

** Показатель и норму определяют по согласованию изготовителя с потребителем.

В качестве теплозащитной прокладки применяют текстильные тканые и нетканые материалы, перо-пуховой наполнитель, натуральный и искусственный мех и другие теплозащитные материалы, отвечающие требованиям ГОСТ 12.4.303-2016 «Одежда специальная для защиты от пониженных температур» таблица 1.13.

Таблица 1.13 – Требования к миграции волокон утеплителя, ГОСТ 12.4.303-2016

Наименование показателя	Нормативное значение показателя
Миграция волокон утеплителя на площади 150 см, количество, не более	2
Миграция перо-пухового наполнителя, количество, не более	0

В пакете материалов спецодежды может быть использован любой вид теплозащитного материала, толщина, количество слоев или масса которого обеспечивают требования к теплозащитным свойствам, указанным в таблицах 1.8 и 1.9, если отсутствуют специальные требования пользователя.

Анализ требований технических регламентов и государственных стандартов, позволил определить нормативные требования, предъявляемые к физико-механическим свойствам материалов и готовых швейных изделий, которые необходимо учитывать при проектировании швейных изделий и разработке новых материалов, с целью обеспечения их надежности, долговечности и комфорта пододежного пространства.

1.3 Анализ ассортимента, систематизация и разработка классификации утепляющих текстильных материалов для одежды

В последние годы очень возросло использование в технологических процессах и в быту изделий из нетканых материалов. Нетканые материалы и изделия из них убедительно доказали практичность своего использования, поскольку благодаря широчайшему спектру своих полезных свойств, ассортименту, и соответственно областей применения их использование очень удобно, а главное - эти материалы стоят недорого [27-29].

Одновременно с развитием производства нетканых материалов стало развиваться и оборудование для их производства [30].

Спрос на новейшие технологии утепления растет, усиливаются требования безопасности к материалам для специальной одежды. На данный момент современные технологии позволяют получать материалы с повышенными прочностными свойствами и одновременно мягкие, не уступающие по качеству тканым материалам [31]. В мае 2018 года вступил в действие ГОСТ 57632-2017 «Материалы нетканые для специальной одежды» с учетом новых требований [32].

На сегодняшний день существует широкий ассортимент нетканых материалов разных производителей для использования в теплозащитной одежде [33, 34]. Он же делает задачу выбора материала для конкретного изделия затруднительной. Наиболее популярным в последние годы на отечественном рынке является нетканый объемный утеплитель «Холлофайбер», который производит компания ООО «Термопол» (г. Москва). В 1997 году была зарегистрирована торговая марка, которая стала самым узнаваемым наименованием нетканых материалов и получила дополнительную регистрацию в Роспатенте как охраняемый «Общеизвестный товарный знак №101». Согласно экспертному опросу, обозначение «Холлофайбер» знают более 96% специалистов предприятий, которые являются потребителями нетканых материалов [35-41].

Полотна из 100% пустотелого, высокоизвитого (в виде спиральной пружины), силиконизированного полиэфирного микроволокна выпускают из автоматически уложенного в холст аэродинамическим способом синтетического волокна путем термоскрепления. Вес волокна различен, они неодинаково оседают и т.п. При термическом скреплении, еще на начальной стадии производства в волокна, из которых состоит нетканый материал, добавляют дополнительно легкоплавкие волокна. Которые под воздействием температуры (от 150°C и выше, в зависимости от состава рецептуры) плавятся и тем самым прочно и равномерно связывают другие волокна между собой. Легкоплавкое волокно является также синтетическим волокном, материал, скрепленный подобным

образом, не имеет посторонних запахов, не токсичен и совершенно гипоаллергенен [42, 43].

С точки зрения разработчиков компании «Термопол», современные материалы для утепленной одежды должны быть универсальны и многофункциональны. Это особенно актуально для современной одежды и обеспечения теплоизоляции с учетом климатических особенностей Российской Федерации. Так был создан Холлофайбер® ТЕРМО с функцией терморегуляции. Это обеспечили специальные волокна, ставшие элементами сбалансированной смеси, формирующие изотропную структуру [44].

Фабрика Нетканых Материалов ООО «ФНМ Весь мир» (г. Подольск, Московская обл.) является и разработчиком и производителем высокотехнологичных нетканых материалов и готовых решений. Это высокотехнологичные микроволоконные утеплители для производства одежды и обуви, в том числе для высококачественной защитной одежды, шумо-изоляционные материалы для автомобильной промышленности и строительства, фильтрующие материалы и респираторные полотна, сорбирующие системы и материалы для производства мебели и матрасов [45].

Фабрика нетканых материалов «Весь мир» также производит нетканые материалы под известной маркой Sh (ЭсЭйч)-Shelter (Шелтер-от англ. «shelter»-укрытие, защита). Под этой маркой производится большой ассортимент утеплителей для верхней утепленной одежды различного назначения. При их разработке принимались во внимание теплозащитные свойства натуральных утеплителей из пуха и шерсти, а также технологичность материалов и легкость в последующем уходе [38, 39].

ООО «Терморреал» (г. Москва) с 2009 года является производителем качественных утеплителей для одежды: Termofinn, Alpolux, Огнестоп, Флеймтекс с поверхностной плотностью 100, 150, 200 г/м². Изделия производятся на современном европейском оборудовании только из первичного сырья: высокоизвитых полых полиэфирных волокон и бикомпонентных волокон. Как заявляет производитель, их утеплители обладают рядом преимуществ таких как:

равномерность полотна, стабильность качества, экологичность, стойкость к многократным стиркам. Продукция компании «Терморéal» востребована российскими швейниками от Калининграда до Владивостока, как для производства утепленной повседневной одежды, так и для производства спецодежды [46].

Холдинг «С2 ГРУПП» (г. Новосибирск) постоянно ведет разработку и внедрение новых материалов и технологий, удовлетворяющих спрос потребителей. Именно этот подход позволил выстроить взаимовыгодные отношения с более чем 1500 партнерами в 40 регионах России и странах СНГ. Холдинг выпускает несколько линеек утеплителей для одежды: «Слайтекс™» в основе используются огнестойкие волокна, «Аляска» основа составляет полое и силиконизированное полиэфирное волокно, «Миратек» в основе которого заложено ультратонкое и силиконизированное волокно. Производственно-торговый холдинг С2 ГРУПП обладает высокотехнологичным оборудованием и современными технологиями для создания новых инновационных утеплителей для защиты от пониженных температур [47].

Так же на отечественном рынке в 2014 году началось производство высококачественных утеплителей из микроволокон компании «Сиберия». На сегодняшний день линейка «Сиберия» включает в себя пять основных вида утеплителей: «Сиберия Классик» - универсальный утеплитель, специально разработанный для создания материалов различных сфер применения; «Сиберия Микро» - утеплитель из тончайших микроволокон для тех, кому необходимо сделать тонкие, теплые и легкие изделия одновременно; «Сиберия Вельвет» - утеплитель для изделий, которым необходим дополнительный объем и мягкость; «Сиберия Хаски» - трёхслойный материал, состоящий из слоя полиэфирных волокон и двух слоёв ультратонкого полипропилена; «Сиберия Слим» - утеплитель, сделанный из тончайших волокон, обладающий непревзойдёнными теплоизоляционными свойствами при минимальной толщине. Выбор утеплителя будет зависеть от климатического региона, в котором необходимо будет обеспечить надежную защиту от холода [48, 49].

Из этого следует, что отечественные компании и фирмы успешно осваивают технологию производства нетканых объемных утеплителей, которые позволяют швейным предприятиям заменить импортные аналоги и производить высококачественную утепленную верхнюю одежду, защищающую от высоких температур в различных климатических регионах.

После анализа отечественных производителей нетканых утеплителей рассмотрим зарубежных, к которым относятся: СООО Торговый Дом «Файбертек» (Республика Беларусь, г. Минск), образованный в феврале 2005 г., является одним из лидеров в СНГ по производству постельных принадлежностей и фирменных текстильных утеплителей.

Файбертек - нетканый материал, представляющий собой объемный слой из композиции тончайших пустотелых высокоизвитых, полиэфирных волокон, специально обработанных силиконом. Благодаря такой обработке, скользкие силиконизированные волокна движутся независимо друг от друга, из-за чего утеплитель не сбивается, не слеживается и сохраняет свою форму даже после намочения. Для достижения требуемой прочности и стабильности поверхность утеплителя армирована полипропиленовым полотном (спанбондом) и механически простегана. Подобное армирование предотвращает миграцию волокон на наружную поверхность изделия верхней ткани одежды даже после многократных стирок и позволяет утеплителю в целом выдерживать большие нагрузки на разрыв [50].

Компания Hobbs Bonded Fibers (США) является лидером в индустрии нетканых материалов уже более 60 лет. Это было достигнуто благодаря выдающейся команде исследований и разработок, которая разрабатывает продукты, отвечающие потребностям и требованиям потребителей. Компания делает большой упор на тестирование своей продукции. Помимо возможностей внутреннего тестирования, Hobbs заключила партнерские отношения с рядом внешних или сторонних лабораторий, аккредитованных A2LA, чтобы дополнить наши внутренние возможности и предоставить сертификаты по OEM / отраслевым стандартам [51].

Некоторые из общих требований к тестам включают:

- Циклические испытания на отказоустойчивость, восстановление при сжатии и долговечность;
- Огнестойкость и дымообразование;
- Тестирование теплопроводности / значения R;
- Растяжение / разрыв / удлинение [51].

По мнению специалистов компании, утеплители компании Hobbs Bonded Fibers лучше принимают форму одежды и могут использоваться в качестве альтернативы раздутым и простеганным курткам [51].

Компания «Thermore» (Италия) разработала утеплитель «Термор Ариа», в котором 98% объема занимает воздух. Легкий и объемный материал используется в качестве подкладок в сверхлегких пуховиках [52, 53].

Компания «LIBELTEX» (Бельгия) производит утеплитель ISOSOFT из волокон, имеющих форму шариков. Шарики не сообщаются между собой и содержат полости, именно поэтому изделие на таком утеплителе хорошо держит форму (не деформируется) и тепло (один слой изософта эквивалентен 3-4 слоям синтепона) [54].

После успешной разработки утеплителя для костюмов и обуви космонавтов, известной американской компанией 3M, продолжилось развитие материала в направлении создания группы утеплителей Thinsulate («Тинсулейт») различного назначения. Этот утеплитель создан на основе тончайших микроволокон и обладает способностью эффективно сохранять излучаемое телом тепло при наименьшем объеме. Специалисты фирмы отмечают, что диаметр таких волокон составляет от 2 до 10 микрон, т. е. почти в 50-70 раз тоньше человеческого волоса. Утеплитель Тинсулейт выпускается разной толщины и разных модификаций для разных климатических условий. В изделии могут использоваться как один, так и несколько слоев утеплителя Тинсулейт. Образец утеплителя Тинсулейт почти в два раза теплее аналогичных по толщине образцов натурального пуха и даже меха. При этом Тинсулейт не обладает недостатками натуральных материалов [36, 37, 55].

Также нельзя не упомянуть компании, которые были одними из первых начинающих производство объемных нетканых утеплителей. Это компании такие как: «Теда филтекс» (Китай); «Сандлер» (ФРГ), «Сумитомо ЗМ» (Япония), «OKV» (Италия), «Якоб Харди» (Швейцария) [56-61].

Благодаря новому научно-техническому прогрессу на рынке представлен огромный ассортимент теплозащитных текстильных материалов, способных защищать человека от пониженных температур. Однако практически с 1980-х гг. прошлого века работы по классификации и терминологии утепляющих материалов прекратились, хотя произошли существенные изменения в структуре производства и потребления, появились новые методы и технологии производства, а также новые виды сырья, поэтому для обоснованного конфекционирования материалов в пакет утепленной одежды, актуально систематизировать и классифицировать такие материалы.

На основе системного анализа и принципов классификации разработана иерархическая классификация [62]. В основу классификации положен основной классификационный признак-способ функционирования утепляющих материалов, который делит все современные утепляющие материалы на две группы: пассивные и активные утеплители (рисунок 1.2).

Пассивные утеплители - это теплоизоляторы с низким коэффициентом тепло-и температуропроводности и высоким коэффициентом суммарного теплового сопротивления, которые защищают от воздействия низких температур окружающей среды и сохраняют тепло собственной теплопродукции человека в пододежном пространстве. К пассивным утеплителям относятся: натуральный и искусственный мех, нетканые теплозащитные утепляющие ватины, вата, синтепоны, в том числе с пуховым, перьевым и другими наполнителями, а также вспененные полимеры-поролон. Анализ ассортимента пассивных утеплителей одежды ставших классическими показал, что синтетические нетканые полотна уверенно вытесняют утеплители из натурального меха, который по-прежнему актуален и востребован в производстве специальной и повседневной зимней одежды для районов Сибири, Дальнего востока и Крайнего севера.

Классификация утепляющих материалов

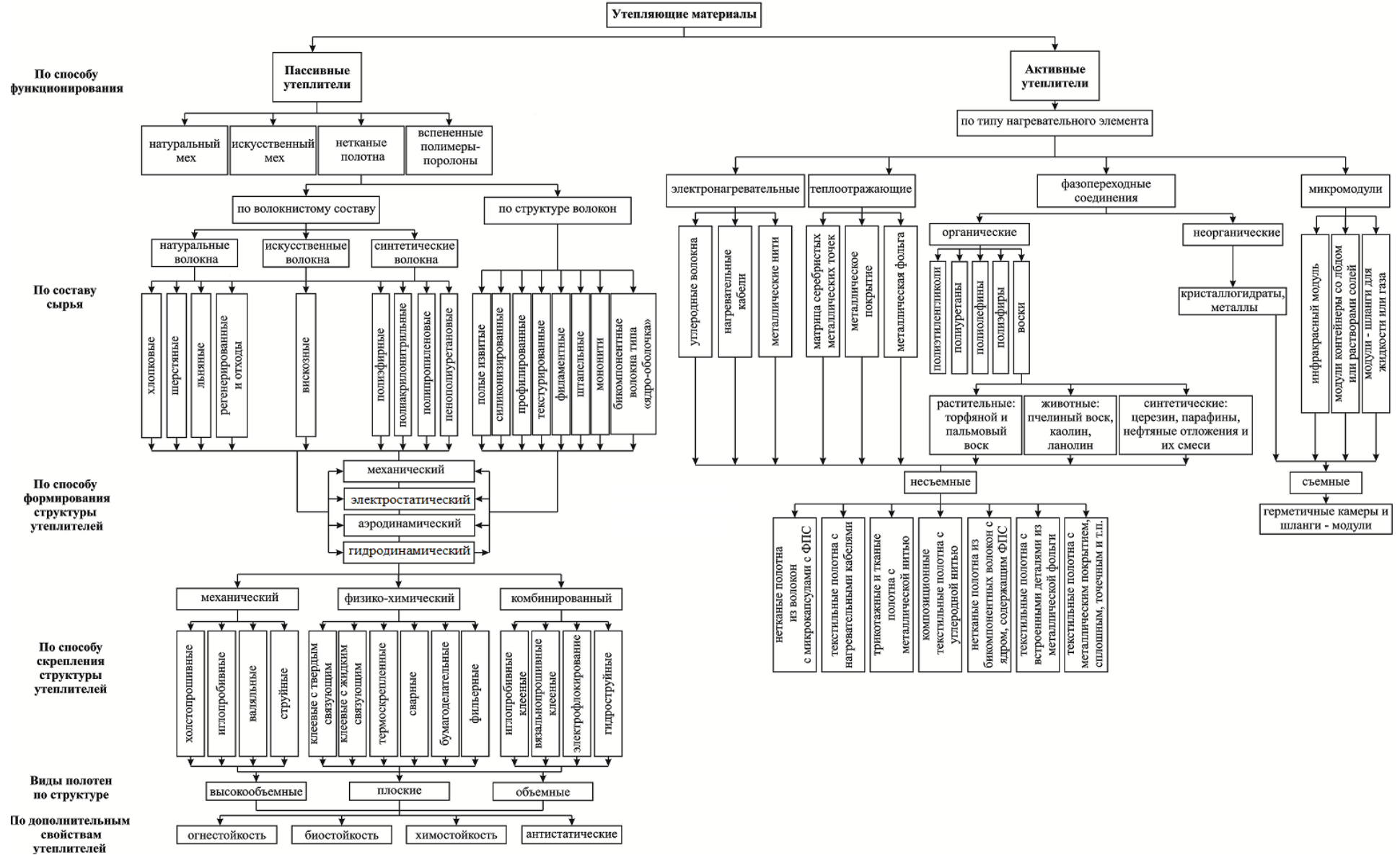


Рисунок 1.2 – Иерархическая классификация утепляющих материалов для одежды

Для этих целей используется мех шубной овчины, козлика, кролика, зайца и других животных, как с естественной длиной ворса, так и стриженные.

Одежная вата, высокопористый поролон (пенополиуретан), также имеют ограниченное применение преимущественно в производстве спецодежды [63].

На сегодняшний день нетканые полотна - это самый разнообразный сегмент пассивных утеплителей. Интенсивное развитие производства нетканых утеплителей продиктовано не только экономическими соображениями, низкой стоимостью сырья и возможностью использования отходов текстильного и прядильного производств и вторичного сырья, но и хорошими теплозащитными и упругими свойствами, простотой применения в швейном производстве. Отсюда такое разнообразие способов производства: формирования (механический, электростатический, аэродинамический и гидродинамический) и скрепления структуры нетканых полотен (механическими, физико-химическими и комбинированными способами) из волокон разной природы (натуральные, искусственные, синтетические и их смеси) и разнообразной структуры (полые, извитые, бикомпонентные, штапельные, филаментные, профилированные и текстурированные и другие) [62].

Ассортимент нетканых утеплителей разнообразен по типам, маркам, структурам и свойствам и их можно подразделить на: высокообъемные, плоские, объемные. Помимо способности противостоять влаге и воздействию низких температур, утепляющие материалы могут подвергаться различным обработкам, с целью придания антистатических, бактерицидных, огнезащитных и других специальных свойств [64-68].

С развитием технического и научного прогресса появляется все больше возможностей улучшить жизнь человека. Одним из таких полезным нововведением стали активные утеплители. Активные утеплители - это инновационные материалы, которые активно участвуют в процессе теплорегуляции и создании комфортного микроклимата пододежного пространства [69-82].

Способы терморегуляции активных утепляющих материалов [69-82] в целом можно разделить на четыре группы:

1. разработка токопроводящих систем текстильных материалов [69-76];
2. разработка систем материалов способных изменять теплопроводность в зависимости от температуры окружающей среды [69];
3. создание терморегулируемых материалов с использованием в качестве наполнителя фазопереходных веществ, способных при переходе из одного фазового состояния в другое поглощать и выделять тепло [78-80];
4. микромодули с обогревающим/охлаждающим агентом [81, 82].

Разнообразие типов и структур позволяет использовать утепляющие материалы при создании верхней утепленной бытовой одежды (курток, пальто и т.д.) и утепленной спецодежды для различных климатических зон.

Таким образом, отечественными производителями разработаны новые виды объемных синтетических утеплителей, которые не уступают по качеству лучшим зарубежным аналогам, и в то же время значительно дешевле по стоимости. Благодаря этим преимуществам можно смело сделать выбор в пользу отечественных синтетических утеплителей при создании изделий для защиты от холода.

В результате проведенного анализа разработана иерархическая классификация утепляющих материалов для одежды на основе анализа ассортимента, требований, способов функционирования, производства и назначения. Разработанная классификация позволяет рационально конфекционировать материалы в пакет одежды с учетом данных о структуре, назначении и ассортименте утепляющих материалов.

1.4 Анализ производства, структуры и ассортимента мембранных тканей для одежды

Мембранная ткань изначально называемые ткани с мембранным покрытием, а после появления многослойных (2, 2,5 и 3 слойных) материалов, стали

называться мембранные ткани. Согласно данным Википедии - *мембранная ткань* – это вид ткани, состоящей из нескольких слоев: верхний износостойкий слой, нижний мягкий слой, между ними несколько защитных слоев ткани и мембрана, которая, благодаря своей особой структуры, обладает водоотталкивающими и ветрозащитными свойствами, но в тоже время пропускает через себя водяной пар

Самая важная функция непромокаемой одежды - защита от дождя и мокрого снега. При намокании, любая ткань начинает отнимать тепло выделяемое телом человека, при этом может наступить переохлаждение организма даже в сравнительно тёплую погоду. На данный момент существует огромный ассортимент тканей изготовленных химическим путем для создания швейных изделий, которые защищают тело человека от погодных явлений таких как: дождь, ветер, пониженные температуры и другие факторы [83-88].

Введение мембран в состав защитных тканей позволяет выводить пары воды, не допуская при этом попадание внутрь влаги, ветра, дождя, снега. Способность текстильных материалов проявлять свойства проницаемости обусловлена капиллярно-пористой структурой, которая имеет сложную систему пор и капилляр, образованных в результате неплотного расположения макромолекул, микрофибрилл и фибрилл в структуре полимера волокна. Мембрана пропускает пары влаги для поровых мембран - посредством проницаемости через поры, для беспоровых мембран - за счет сорбционных процессов. Поэтому проницаемость и поглощение мембранными тканями представляет собой весьма сложный процесс [86, 88-91].

Характеристика, обратная проницаемости - непроницаемость или упорность. Оптимальный микроклимат пододежного пространства регулируют физические свойства текстильных материалов, такие как проницаемость, поглощение и теплофизические [92, 93].

Для изготовления мембран используют такие материалы как: полиуретан (PU); политетрафторэтилен (PTFE или ПТФЭ). Известен также как тефлон, или фторопласт-4; полиамидные. Для производства поровых мембран используется

только политетрафторэтилен, а полиуретановыми могут быть как поровые, так и беспоровые мембраны [94].

Различают следующие основные методы получения полимерных мембран:

1. Формирование из раствора.
 - 1.1. Сухой способ формирования.
 - 1.2. Мокрый способ формирования.
 - 1.3. Сухо-мокрый способ формирования.
2. Формирование из расплава.
3. Спекание порошков, волокон и волокнистых дисперсий.
4. Травление монолитных пленок.

Ниже приведены методы получения мембранных материалов [90, 95-98].

Формование из раствора является одним из наиболее часто используемым способом производства полупроницаемых мембран и включает три разновидности метода: сухой, мокрый (коагуляционный) и термальный [96].

Сухой метод (метод сухого формования за счет испарения растворителя) заключается в растворении полимера, например, эфира целлюлозы, или смеси полимеров, в летучих растворителях типа ацетона, добавлении к этому раствору соответствующих порообразователей (этанола, бутанола, воды, глицерина и др.) и разбрызгивания раствора на гладкую поверхность полимерной пленки, с последующим испарением растворителя. Таким методом изготавливают только крупнопористые мембраны [97].

Эта наиболее простая методика приготовления мембран с помощью инверсии фаз - это осаждение испарением растворителя. По этой методике полимер растворяется, и раствор полимера наносится на соответствующую подложку, например, стеклянную пластину. Растворитель может быть испарен в инертной атмосфере, с тем, чтобы исключить контакт с парами воды, что позволяет получить плотную гомогенную мембрану. Для получения пористых структур формирование пленки должно идти через стадию разделения фаз. Поэтому для получения пористых мембран формовочные растворы включают три или более компонента: полимер, летучий растворитель и один или несколько

порообразователей, относящихся к группе нерастворителей по характеру взаимодействия полимер - растворитель. Нерастворитель должен быть менее летучим, чем растворитель. Разность температур кипения растворителя и нерастворителя должна составлять не менее 30-40 °С. Поскольку растворитель более летуч, чем нерастворитель, их соотношение в ходе испарения меняется, так что достигается высокое содержание нерастворителя и полимер осаждается с образованием пористой структуры мембраны. Полученные пленки, данным способом, могут храниться и транспортироваться в сухом виде [97].

При мокром формовании (коагуляционный, осадительный, фазоинверсионный метод) мембрана получают при погружении раствора полимера в ванну с нерастворителем, т. е. мокрым формованием. Сначала на поверхности контакта полимера и осадителя (нерастворителя) формируется тонкая оболочка из полимерной сетки, а затем по диффузионному механизму осадитель замещает растворитель в толще мембраны. То есть удаление растворителя из раствора полимера происходит за счет его большего сродства к жидкости (раствору), омывающему формирующуюся полимерную пленку. Формовочный раствор отливается на соответствующую подложку или проходит под давлением через фильеру и погружается в коагуляционную ванну, содержащую осадитель. Осаждение полимера происходит за счет обмена растворителя и осадителя [90].

После полива пленку полимера переводят в осадительную ванну. Действие осадителя заключается в быстрой коагуляции полимера, т.е. в формировании сначала на поверхности контакта тонкой оболочки из полимерной сетки. Затем через эту оболочку уже по механизму диффузии растворитель проникает из объема пленки в осадительную ванну, а осадитель-внутри раствора полимера [90].

Регулировать пористость можно:

- подбором пары растворитель-осадитель;
- добавлением в состав осадительной ванны растворителя;
- изменением температуры осадительной ванны [90].

Полученная пленка является лишь заготовкой, а не полупроницаемой мембраной. Для того, чтобы закрепить полученную структуру, ее необходимо обработать водой при температуре, близкой к температуре стеклования данного полимера. При этом происходит некоторая усадка пористой структуры, что часто приводит к повышению селективности мембран [90].

При термальном методе формирования пористых мембран происходит термическая желатинизация смеси полимера и соответствующих пластификаторов, например, полигликолей. Этот метод заключается в смешивании компонентов с целью получения геля. По мере снижения температуры нагретого раствора пластификатор-полимера, полимерные цепочки взаимодействуют и образуют гелеобразную структуру. Одновременно с этим происходит разделение фаз и образование пор. Далее для удаления добавок полученную пленку промывают водой [91].

Метод «спекания» заключается в прессовании порошка полимера, содержащего частицы заданного размера, с последующим спеканием при повышенной температуре, зависящей от материала. В зависимости от размера добавленных частиц и от отношения объема введенных частиц в порошок зависит размер пор. Чем меньше распределение частиц по размерам, тем однороднее распределение пор по размерам в формируемой мембране [91].

При использовании метода спекания получают только микрофильтрационные мембраны. Размер пор варьируется от 0,1 до 10 мкм; пористость варьируется от 10 до 20% [91].

Радиационное повреждение с последующим химическим травлением тонких монокристаллических пленок, сформированных из расплавов или растворов полимеров является промышленным способом получения мембран [91].

Типичным примером этого является получение «ядерных фильтров». Для получения таких мембран изначально полимер разрушают с помощью ускоренных заряженных частиц, после чего производят выщелачивание полимера, что придает пленке пористость. Данным методом получения мембран образуются поры правильной цилиндрической формы с малой дисперсией по размерам.

Пористость (количество пор) в основном определяется временем облучения, в то время как диаметр пор зависит от времени травления [91].

В результате прохождения тяжелой заряженной частицы вдоль её траектории в веществе образуются узкие области с измененной химической и физической структурой, которые называются латентными (скрытыми) треками. Визуализация и увеличение этих треков происходит в результате избирательного травления облученного полимера [91].

Таким образом, технологический процесс получения мембран по этому методу состоит из таких стадий как облучение пленки потоком частиц (для этого используют, например, тяжелые ионы или осколки деления ядер урана), травление пленки, вымывание продуктов деструкции и сушки полученной пористой пленки.

По строению мембраны делятся на 3 вида: гидрофобные (поровые), гидрофильные (беспоровые) и комбинированные (интегрируемая непосредственно в ткань). Наиболее известны микропоровые мембраны: Gore-Tex®, Porelle®. Гидрофильные: Gelanots (Gore-Tex®), Sympatex®, Ultimex®, Sofitex®, Cyclone®, TransActive®; комбинированные - «Triple Point Ceramic», Ceplex (Vaude®) [99].

Поровые мембраны (гидрофобные) – представляют собой тонкий слой полиуретана или тефлона (политетрафторэтилена - ПТФЭ), растянутый до такой степени, что распадается на отдельные волокна, между которыми образуются поры. Поровые мембраны хорошо работают на отведение паров влаги и имеют хорошую водостойкость. Такие мембраны работают во влажной атмосфере и при низких температурах. Однако недостатком такой мембраны является то, что поры быстро загрязняются, а сама мембрана слишком нежна и подвержена повреждениям от механического воздействия. Наиболее известные примеры: Gore-Tex, первые мембраны eVent и другие [99].

Размер пор подбирается таким образом, чтобы они пропускали молекулы водяного пара, но не пропускали молекулы воды (рисунок 1.3).

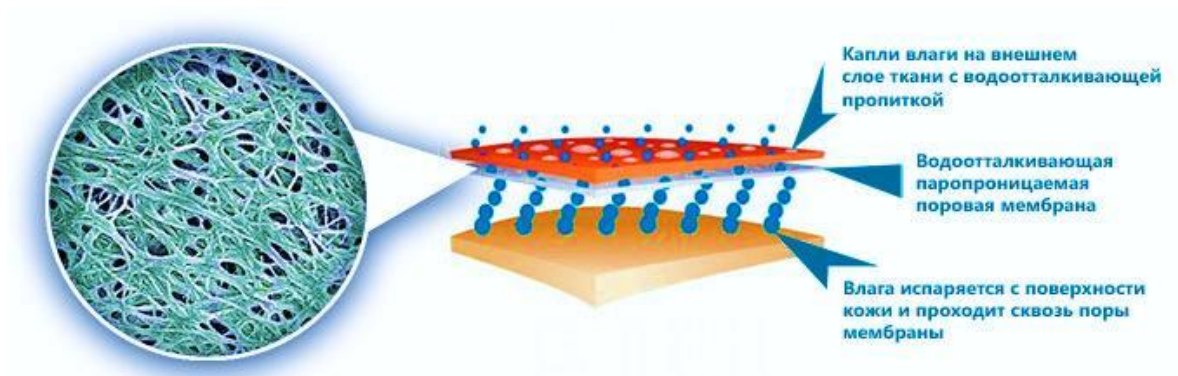


Рисунок 1.3 - Схема паропроницаемой поровой мембраны

Беспоровые мембраны (гидрофильные) - работают по совершенно другому принципу. Такая мембрана имеет сплошное покрытие, осуществляющее транспортировку влаги изнутри за счет диффузии (рисунок 1.4). Необходима разница в давлении и влажности. Поэтому, прежде чем выйти наружу, влага скапливается внутри мембраны в достаточном для вытеснения на поверхность количестве. Материал всегда ощущается слегка влажным. Соответственно, беспоровая мембрана не слишком хорошо выводит пары влаги при открытой вентиляции, влажной погоде и при минусовых температурах. К положительным качествам можно отнести долговечность, высокие показатели водостойкости и паропроницаемости, абсолютную ветроустойчивость и относительно низкую стоимость. Наиболее известные примеры: Toray Dermizax, Marmot Membrane, Mountain Hardware Conduit [100].

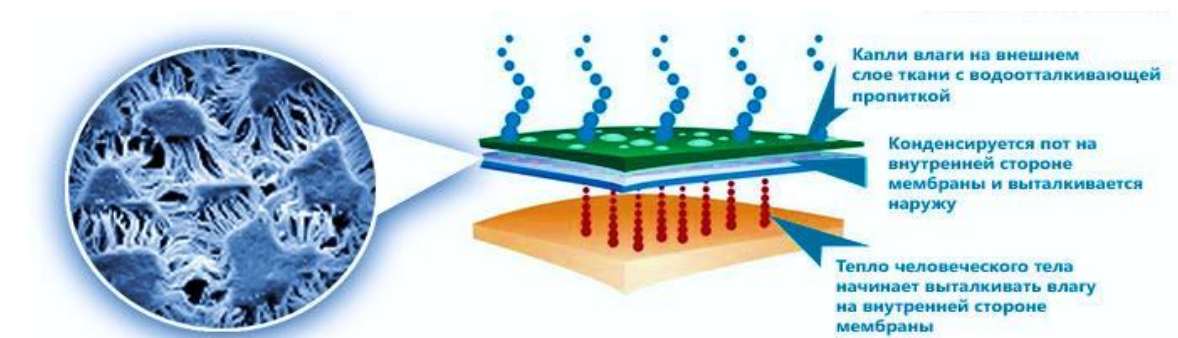


Рисунок 1.4 - Схема ткани с паропроницаемой беспоровой мембраной

Так как поровая мембрана обладает таким недостатком как быстрое загрязнение пор и как следствие - рабочие качества снижаются и, прежде всего, страдают дышащие и водоотталкивающие свойства мембранной ткани, а беспоровая мембрана будет работать в том случае, если будет разница в давлении и влажности. То есть во влажной среде такая мембрана работать не будет. Поэтому было принято решение в виде совмещения мембран двух типов (Комбинированные мембранные материалы): пористая мембрана на основе политетрафторэтилена (ПТФЭ) служит основным барьером на пути жидкой влаги и способствует отведению водяного пара, а внутренний слой из беспорового гидрофильного полиуретана обеспечивает защиту ПТФЭ-мембраны от загрязнения. Таким образом, комбинированный мембранный материал обладает преимуществами поровых мембран и надежностью беспорового покрытия [101].

Электроспиннинговый мембранный материал - относительно свежее изобретение. Яркими представителями служат Polartec Neoshell (2012 год), Outdoor Research AscentShell (2016 год) и The North Face Futurelight™ (2019 год). Особенностью конструкции является нанопокрывание из полиуретана, наносимое практически на любую ткань с помощью множества миниатюрных сопел. Процесс похож на работу струйного принтера. Толщина полиуретановых нитей настолько мала, что на поверхности ткани образуется тончайшая пространственная решетка, обладающая свойствами мембраны. Плотность мембранной пленки очень низка, ткань сохраняет эластичность и имеет чрезвычайно высокие показатели паропроницаемости. Благодаря контролируемому процессу характеристиками такой мембраны можно управлять еще во время нанесения нановолокон на ткань. Считается, что данная технология - будущее outdoor индустрии [100].

По способу присоединения мембраны к внешней ткани разделяют на два вида: *membrane laminated* - пленочный материал, ламинированный к верхней ткани по особой технологии; *membrane coating* - специальный состав в виде частиц волокон термопласта распыляется на ткань и получается покрытие, обладающее свойствами паропроницаемости и водонепроницаемости [102].

По конструкции мембранные ткани делятся на типы строения: двухслойные, трехслойные и так называемые «двух-с-половиной»-слойные.

Двухслойная ткань (2-layer, 2L) – это внешний слой ткани, к которому с изнаночной стороны нанесена специальным образом мембрана (рисунок 1.5.). Данная ткань в изделиях всегда используется с подкладкой, т.к. подкладка обеспечивает должную защиту мембране от засорения и механического повреждения.

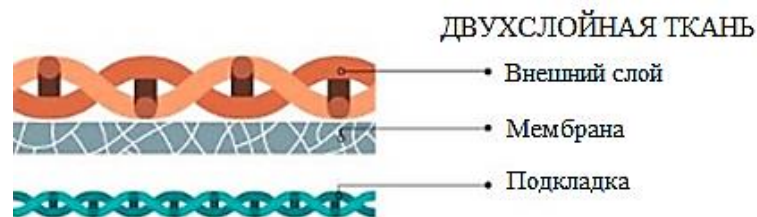


Рисунок 1.5. - Схема двухслойной мембранной ткани

Трехслойная ткань (2.5-layer, 2.5L) выглядит как ткань с мелкой сеткой с изнанки (рисунок 1.6.). Это ткань верха + мембрана + трикотажная сетка, склеенные в одну структуру по специальной технологии ламинирования. Трикотажная сетка защищает мембрану от механических повреждений и засорения.

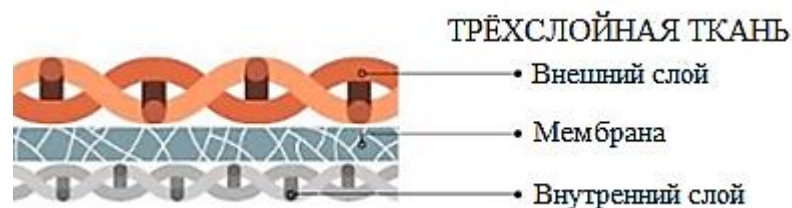


Рисунок 1.6 - Схема трехслойной мембранной ткани

«Двух-с-половиной» - слойная мембранная ткань – это материал, разработанный по новой технологии (рисунок 1.7.). Это двухслойная мембранная ткань, покрытая изнутри защитным слоем (вспененное защитное нанесение в виде пупырышек), которое осуществляет функции третьего слоя, т. е. защиту мембраны. Одежда из такой ткани получается максимально легкой и ей не нужна подкладка, а вес защиты намного меньше, чем у трехслойных материалов [88, 89].

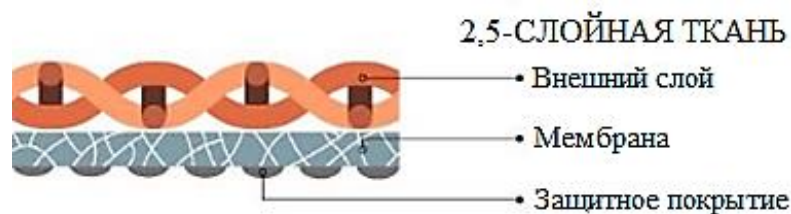


Рисунок 1.7 – Схема 2,5-слойной мембранной ткани

Рассмотрим наиболее известных производителей мембранных тканей.

Мембранные ткани Gore-Tex Pro (США) имеют высокие показатели паропроницаемости при интенсивных нагрузках. Что поможет избежать перегрева или переохлаждения в суровых условиях. Дождь, снег и попадание под водопад мембрана держит очень долгое время. Мембранные материалы Gore-Tex используют практически все известные производители снаряжения для экстремальных видов спорта [103].

Мембранная ткань Dermizax NX японского производителя Toray представляет последнее поколение беспоровых мембран. Очень эластичная и тонкая полиуретановая ткань, имеющая кристаллическую структуру, высочайшие показатели паропроницаемости и водостойкости. Поскольку такая ткань не имеет пор, она способна растягиваться до 200%. Прочная и устойчивая к жесткой эксплуатации, не забивается частицами грязи или кожного жира, совершенно не пропускает ветер. Транспортировка влаги на поверхность материала достигается за счет процесса диффузии, благодаря разнице во влажности изнутри и снаружи. Dermizax NX (рисунок 1.8.) осуществляет перенос быстро, демонстрируя минимальный уровень конденсации, а время является важным показателем качества мембраны. Соответственно, при высоких температурах влага будет накапливаться быстрее, транспортировка станет быстрее [103]. Фирменный мембранный материал от бренда The North Face (США), полученный посредством электроспиннинговой технологии. В компании назвали процесс производства «наноспиннинг» [103].

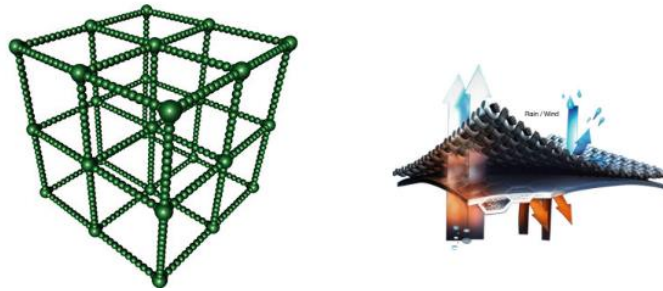


Рисунок 1.8. Структура мембраны Dermizax

Futurelight™ - трехслойная ткань. На внешний слой из переработанных материалов нанесена тончайшая полимерная сетка. Вместо пор - микроскопические промежутки между волокнами полиуретана. Внутренний слой - мягкая подкладка, также сделанная из переработанных материалов. Внешний слой ткани обрабатывается стойкой водоотталкивающей пропиткой DWR без полифторированных соединений в составе (PFC-Free) [103].

Как утверждает производитель, наноструктура мембраны Futurelight™ позволяет существенно повысить показатели паропроницаемости без ущерба водонепроницаемости и долговечности, а в процессе производства – задать эти свойства на этапе нанесения волокон полиуретана на ткань. Плотность мембранного слоя невысока и содержит до 85% воздуха, поэтому материал имеет малый вес, сохраняет некоторую воздухопроницаемость. Также благодаря этой технологии можно создавать бесшовные переходы между более водостойкими и воздухопроницаемыми зонами на одежде. То есть, в стратегически расположенных зонах мембрана будет или защищать от проникновения воды из окружающей среды, или помогать телу дышать, осуществляя транспортировку влаги на поверхность с большей эффективностью [103].

H₂No – собственная разработка компании Patagoni (США). История бренда основывается на гуманном отношении к природе, поэтому основной отличительной особенностью тканей Patagonia является включение в их состав переработанных и биоразлагаемых материалов. Трехслойная мембранная ткань H₂No, детали производства которой не разглашаются, состоит из 100% переработанного нейлона, поликарбонатной мембраны с 13% биоразлагаемых

компонентов и трикотажной подкладки. Плюс, стойкая водоотталкивающая пропитка без PFC - Deluge® DWR, которая считается более надежной, чем классическая DWR [104].

Мембранная ткань бренда eVent® производится компанией BHA Technologies (США) с 1999 года. Огромный шаг вперед был сделан, когда появилась собственная технология Direct Venting™ (DV). Основное отличие между eVent® и другими мембранами, в том, что в производстве eVent® используются технологии Direct Venting (прямая вентиляция) и Dry System, в связи с чем отпадает необходимость нанесения дополнительного полиуретанового покрытия для защиты мембраны от выделений тела. Все волокна обрабатываются специальной субстанцией (на масляной основе), которая позволяет создать структуру постоянно открытых пор, для увеличения прямой проводимости и испарения выделений тела, вместо первоначального попадания на защитный полиуретановый слой. Технология прямой вентиляции eVent® (eVent Direct Venting™ technology) работает при любой температуре и относительной влажности внутри. Просто выводит испарения наружу напрямую и быстро. Ламинат DVAlpine состоит из 3 слоев: верхний слой с обработкой DWR, мембрана с технологией Direct Venting™ и мягкая, комфортная подкладка, не препятствующая переносу влаги [104].

Hydroshell - мембранные ткани британской компании Berghaus, которая имеет пятидесятилетний опыт создания водонепроницаемого снаряжения. Hydroshell Elite Pro абсолютно водонепроницаема, обладает высокими показателями паропроницаемости, отличным соотношением прочности и веса. Сверхлегкая конструкция из 2.5 слоев, верхний из которых – прочный нейлон. Стойкая и долговечная водоотталкивающая обработка DWR, которую используют в Berghaus, не содержит полифторированных соединений в составе (PFC-Free). Производитель утверждает, что пропитка держится дольше своих аналогов и реже требует восстановления [100].

Есть также и российское производство мембранных тканей. ООО «Балтекс» (г. Балашов) производит ткани синтетические и смесовые, следующей

номенклатуры: подкладочные, курточные, ветрозащитные, плащевые и рюкзачные. Предприятие имеет возможность наносить на ткань широкий спектр отделок: «Лаке», водоотталкивающие, водонепроницаемые, маслородоотталкивающие отделки, полиуретановые, «дышащие» и «недышащие» пенополиуретановые, мембранные покрытия и другие виды покрытий [105].

Производственно-торговая текстильная группа «Текстайм» (г. Москва) - эксперт в области современных высокотехнологичных тканей и материалов для создания спецодежды, а также одежды, обуви и снаряжения для спорта и отдыха. Открытие собственного производства в России «Адвентум Технолоджис» позволило нам предложить современные огнезащитные хлопковые и термостойкие арамидные ткани, многослойные дублированные мембранные ткани и пакеты материалов для одежды, обуви и снаряжения рынка Outdoor и силовых структур [106].

Компания ООО «Чайковский текстиль» работает на рынке тканей для спецодежды и униформы силовых структур. Компания выпускает ткани с гидрофильной мембраной для спецодежды с длительной защитой от сильного дождя (до 24 часов). Покрытие позволяет поддерживать комфортный микроклимат пододежного пространства [107].

Еще одним крупным производителем текстильной продукции со специальными защитными свойствами является ОАО «Моготекс» (Республика Беларусь, г. Могилев) [108].

Рекомендуется выбирать мембранную ткань в зависимости от предполагаемого вида деятельности и его особенностей. У каждой мембраной ткани есть предел времени или количества влаги, по окончании которого она начнет промокать. Это не значит, что материал сделан некачественно, это означает лишь то, что ткань достигла своего предела. Мембранные ткани, как и любые ткани, постепенно изнашиваются и теряют свои свойства. Но можно продлить срок службы, если правильно ухаживать за изделиями из такой ткани.

Выводы по главе 1

Таким образом, в результате анализа достижений в области проектирования теплозащитной одежды, обеспечения теплового комфорта одежда, требований технических регламентов и государственных стандартов, и ассортимента утепляющих материалов и мембранных тканей в качестве верха проектируемой структуры пакетов материалов теплозащитной одежды, выбрано направление и объекты исследований.

Анализ ассортимента утепляющих материалов, особенности их структуры, свойств и применения в производстве теплозащитной одежды, позволил разработать иерархическую классификацию утепляющих материалов для одежды на основе анализа ассортимента, требований, способов функционирования, производства и назначения. Разработанная классификация позволяет рационально конфекционировать материалы в пакет одежды с учетом данных о структуре, назначении и ассортименте утепляющих материалов.

ГЛАВА 2 ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1 Характеристика объектов исследования

При выборе объектов исследования ориентировались на современные инновационные материалы, обладающие уникальными свойствами. Поэтому объектами исследования являлись: в качестве тканей верха пакетов утепленной одежды выбрали инновационные мембранные ткани отечественного и зарубежного производства; в качестве утеплителя – объемные нетканые синтетические полотна и бикомпонентных и полых волокон, в качестве подкладочного слоя – объемное трикотажное полотно из ультратонких полых волокон и ткань с грязи и водоотталкивающей пропиткой. Характеристики мембранных тканей отечественного и зарубежного производства представлены в таблицах 2.1 и 2.2.

Таблица 2.1 - Характеристика мембранных тканей отечественного производства

№ образца	Обозначение образцов и производитель	Поверхностная плотность, г/м ²	Волокнистый состав ткани, %	Переплетение ткани	Полимер мембранной пленки, вид отделки	Толщина мембраны, мм
1	Мембранная ткань арт. С 911М,(отделка ПТФЕ «Parel») (ОАО «Балтекс»)	150±5	100ПА	Комбинированное Рип-Стоп	ПТФЕ «Parel»	0,019
2	Мембранная ткань арт. 09С20-КВ, (отделка ПЛЛАМ), (ОАО «Моготекс»)	148±5	100ПЭ	Плотняное	ПЛЛАМ	0,028
3	Мембранная ткань арт. ПЭ/М-003.19 (отделка ПЛЛАМ), (ОАО ГК «Моготекс»)	192±5	100ПЭ	Комбинированное Рип-Стоп	ПЛЛАМ, отделка МВО	0,019
4	Мембранная ткань арт. 09С13-КВ, (отделка ПЛПУМ), (ОАО «Моготекс»)	170±5	100ПЭ	Плотняное	ПЛПУМ	0,026
5	Мембранная ткань арт.80021, (отделка МВОКлЗ), (ООО ГК «Чайковский текстиль»)	190±5	100ПЭ	Плотняное	отделка МВОКлЗ	0,028

Примечания: переплетение «Рип-стоп» - в структуру плетения для упрочнения ткани перекрестно вплетены для усиления нити, равноотстоящие друг от друга; ПЛЛАМ – пленочное покрытие ламинированное политетрафторэтиленовой мембраной; ПЛПУМ пленочное покрытие ламинированное полиуретановой мембраной; ВО - заключительная водоотталкивающая отделка; МВОКлЗ –отделка масловодоотталкивающая (МВО) с полиуретановой мембраной «Климат 3»; ПТФЕ «Parel» - политетрафторэтиленовая мембрана фирмы «Parel»

При выборе объектов исследования, основным критерием отбора образцов являлось разнообразие отделок, структуры с целью выявления наилучших образцов материалов.

Таблица 2.2 - Характеристика мембранных тканей импортного производства

Номер образца	Артикул ткани	Состав ткани, %, переплетение	Поверхностная плотность, г/м ²	Толщина мембраны мм
1	Ткань мембранная «Тогау» TSD 1716DPF2L RIP Lamination. (би-компонентная мембрана на основе пористого политетрафторэтилена) (Япония)	Полиэфир 100, Комбинированное, «Рип-стоп»	140	0,25
2	Ткань мембранная «Тогеу» TSD 7542DPF1L RIP Lamination PU. (мембрана –100% полиуретан) (Япония)	Полиамид 100, Комбинированное, «Рип-стоп»	95	0,22
3	Ткань мембранная «ALM049» (мембрана –100% полиуретан + водоотталкивающая пропитка DWR.) (Германия)	Полиамид 100, Комбинированное, «Рип-стоп»	133	0,26
4	Ткань мембранная арт. «GORE-TEX» SPL70HS 2L, (мембрана GORE-TEX из пористого политетрафторэтилена – PTFE.+ водоотталкивающая, DWR) (США)	Полиамид 100, Комбинированное, «Рип-стоп»	148	0,28
5	Трехслойная дублированная мембраной ткань арт. TSD 3008 DP3L RIP Lamination (дублированная мембраной пористой ПТФЭ-еРТФЕ) (США)	Полиэфир 100, Комбинированное, «Рип-стоп»	140	0,27
6	Ткань мембранная арт. EAE-0765, (мембрана беспоровая, BO WR) (Корея)	Полиамид 100, «Рип-стоп»	158	0,28
Примечания: переплетение «Рип-стоп» - в структуру плетения для упрочнения ткани перекрестно вплетены для усиления нити, равноотстоящие друг от друга.				

Характеристики свойств объемных нетканых утеплителей одежды из инновационных полиэфирных ультратонких и бикомпонентных волокон, полученных по технологии термоскрепления, представлены в таблице 2.3.

Таблица 2.3 - Характеристики свойств объемных нетканых утеплителей одежды

Наименование образцов	Поверхностная плотность, г/м ²	Волокнистый состав, %
1	2	3
«Термопол»		
Холлофайбер СОФТ Р 5190	70	100 Полиэфир
Холлофайбер СОФТ Р 5191	100	100 Полиэфир
Холлофайбер СОФТ ПРИМ Z Р 8391	100	100 Полиэфир
Холлофайбер СОФТ ПРИМ К	150	100 Полиэфир
Холлофайбер СОФТ ПРИМ Z	250	100 Полиэфир
Холлофайбер СОФТ ПРИМ Z	300	100 Полиэфир
Холлофайбер ПРОФИ Р 35197	150	100 Полиэфир
Холлофайбер ПРОФИ Р 35198	200	100 Полиэфир
Холлофайбер Волюметрик Н	200	100 Полиэфир
Холлофайбер Медиум Р 101	300	100 Полиэфир
Холлофайбер ТЭК	100	100 Полиэфир
Холлофайбер ТЭК	150	100 Полиэфир
Холлофайбер ТЭК	200	100 Полиэфир
Termofinn	100	85- полиэфир, 15-бикомпонент
Termofinn	150	85- полиэфир, 15-бикомпонент
Termofinn	200	85- полиэфир, 15-бикомпонент
Termofinn Plus	150	85- полиэфир, 15-бикомпонент
Окончание таблицы 2.1		
1	2	3
«Флайтекс»		
ST полотно нетканое объемное	100	100 Полиэфир
Air полотно нетканое объемное	100	100 Полиэфир
ST полотно нетканое объемное	150	100 Полиэфир
Air полотно нетканое объемное	150	100 Полиэфир
ST полотно нетканое объемное	200	100 Полиэфир
Air полотно нетканое объемное	200	100 Полиэфир
«Шелгер»		
Micro	150	100 Полиэфир

В качестве нагревательного элемента электрообогреваемого слоя выбрана электропроводящая углеродная нить (ТУ 1916-146-05763346-96, производитель предприятие «М-Карбо», г. Светлогорск, Беларусь). Углеродная нить марки УКН-М-12К характеризуется линейной плотностью 205, 400 и 800 текс, относительной

разрывной нагрузкой 22-24 сН/текс, сопротивлением 60-240 Ом/м и удельным электрическим сопротивлением $(0,7-12) \cdot 10^{-5}$ Ом·м в зависимости от толщины нити.

Характеристика вспомогательных прокладочных и подкладочных материалов, используемых при разработке термообогревающего текстильного материала и пакетов одежды, представлена в таблице 2.4.

Таблица 2.4 - Характеристика подкладочных и прокладочных материалов

Наименование образцов	Волокнистый состав, %	Поверхностная плотность, г/м ²
Ткань арт. 210	100 хлопок	110
Иглопробивной прокладочный материал «Сюнт» арт. 934501	30 полиакрилонитрил 40 полиамид, 30 вискоза	100
Флизелин клеевой арт. G405	Основа: 100 полиэфир; Клеевое покрытие: 100 полиамид	65
Поларфлис, арт. 6343	из 100 полиэфирных ультратонких волокон	300
Подкладочная ткань Oxford, арт 240 PU 1000	100 полиэстер, с грязи и водоотталкивающей пропиткой	120

В процессе производства термообогревающего чехла использовали:

- стачивающую нить А 282 № 150 - ОАО «ПНК им. С.М. Кирова», Россия, Санкт-Петербург;
- стачивающую нить MAIDERA №120 (100% полиэстер) - «MAIDERA», Германия, Фрайбург;
- герметизирующая термоклеевая лента PU - (100% полиуретан) толщиной 100 микрон и шириной 20 мм, Китай;
- кант декоративный (100% полиэфир), шириной 30 мм, Китай;
- фурнитура - застежка-молния тракторная 5 мм, застёжки «фастекс» и контактная лента велькро.

2.2 Методы и методики экспериментальных исследований

Физические и механические свойства исследуемых материалов определяли по стандартным методам [109-124]:

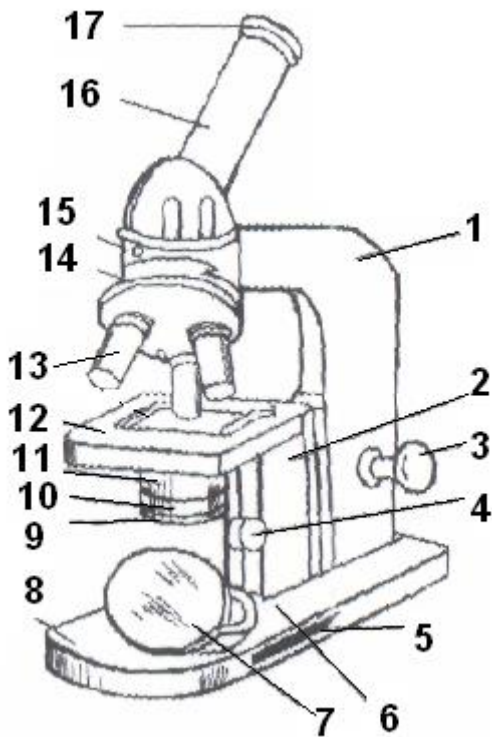
Определение жесткости материала при изгибе	ГОСТ 10550-93
Определение несминаемости	ГОСТ 19204-73
Определения разрывных характеристик при растяжении тканей	ГОСТ 3813-72 (ИСО 5081-77, ИСО 5082-82)
Относительная разрывная нагрузка (P_0) и удлинение волокон (l_0)	ГОСТ 6611.2-73
Определение прочности нетканых полотен	ГОСТ 53226- 2008
Определение стойкости к истиранию по плоскости	ГОСТ 18976-73
Определение толщины	ГОСТ 12023-2003
Определение изменения размеров после мокрых обработок	ГОСТ 30157.1-95
Определение водопроницаемости	ГОСТ 12.4.263-2014
Определение водоотталкивания	ГОСТ 28486-90
Определение поверхностной плотности	ГОСТ 3811-72
Определение паропроницаемости	ГОСТ 22900-78
Определение воздухопроницаемости	ГОСТ 12088-77
Определение суммарного теплового сопротивления	ГОСТ 20489-75
Определение устойчивости к испытанию дождеванием	ГОСТ 30292-96
Определение теплостойкости и стойкости к водяному пару	ГОСТ Р ИСО 11092-2012
Определение проницаемости водяным паром	ISO 15496-2004
Определения гигроскопических и водо-отталкивающих свойств	ГОСТ 3816-81
Определение прочности швов	ГОСТ 4103-82
Определение устойчивости к однократному и многократному сжатию	ГОСТ 57027-2016

Обработку экспериментальных данных осуществляли методом математической статистики. Целью статистической обработки данных является определение с известной степенью надежности изучаемых характеристик объекта исследования на основании конечного числа образцов. Статистическую обработку результатов эксперимента проводили по ГОСТ Р 8.736-2011

«Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений. Основные положения» [125].

Исследование структуры материалов проводили с помощью оптической микроскопии [126]. Для микроскопии поверхности и структуры текстильных

материалов использовали микроскоп, МБИ - 3 (рисунок 2.1).



Оптическая схема микроскопа состоит из осветительной и наблюдательной систем.

Осветительная система включает в себя зеркало 7, конденсор 11 с апертурной ирисовой диафрагмой 10 и линзой 9.

Наблюдательная система микроскопа состоит из объективов 13, монокулярного или бинокулярного тубуса 16 и сменных окуляров 17.

Тубу и держатель 1 смонтирован на основании 8. В его верхней части установлена головка с револьвером 14 и гнездом для крепления наклонного тубуса, которая крепится винтом 15.

Тубус можно повернуть вокруг вертикальной оси и установить в любом положении. На револьвере 14 имеется четыре отверстия с резьбой для ввинчивания объективов. Центрированное внутри револьвера. Грубая фокусировка микроскопа производится рукояткой 3, с помощью которой осуществляется перемещение направляющей с тубусодержателем 1.

Рисунок 2.1 - Микроскоп МБИ-3

Положение объективов обеспечивается фиксатором (защелкой). Микрометрическая фокусировка микроскопа производится диском 5 с двойной накаткой, который приводит в действие механизм, находящийся в коробке 2.

Произведение цифровых обозначений увеличения объектива и окуляра дает общее увеличение микроскопа и для микроскопа МБИ-3 может быть от 54 до 1350. После

ознакомления с устройством микроскопа приготовили образцы для исследований. Изображение с микроскопа фотографировали и обрабатывали на компьютере.

Испытания теплофизических свойств осуществляли на установке измерения тепловой проницаемости текстильных материалов (ТПТМ) разработанной Шампаровым Е.В., описанной в работе [127]. Установка, предназначена для измерения тепловой проницаемости образцов материалов, состоит (рисунок 2.2) из Т-образного каркаса, блока измерений, блока электронного управления установкой, установка соединена с USB-портом компьютера 1, который осуществляет контроль температуры и термостатированных заданных элементов установки [127].

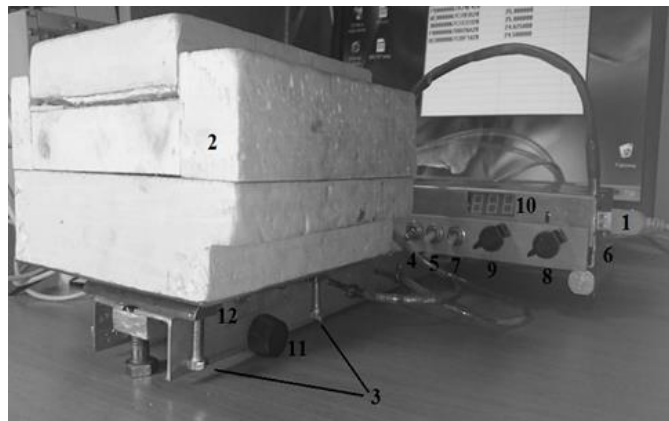


Рисунок 2.2. Конструкция установки: 1. USB – кабель для соединения установки с компьютером; 2. Шапка с нагревателем и тепловым экраном; 3. Болты для фиксации толщины образца; 4. Тумблер переключения полярности питания элемента Пельтье на тепловом экране В1; 5. Тумблер включения питания схемы стабилизации температуры теплового экрана В2; 6. Общий тумблер включения питания установки; 7. Тумблер переключения сопротивления нагревателя В3; вверх 5 Ом, вниз 20 Ом; 8. Тумблер включения В4 и регулятор «грубо» напряжения питания нагревателя; 9. Регулятор «точно» напряжения питания нагревателя; 10. Индикатор напряжения питания нагревателя; 11. Тумблер включения и регулятор стабилизируемой температуры холодильника; 12. Светодиодный индикатор работы схемы стабилизации температуры холодильника [127].

Во время измерения заданные температуры холодильника и теплового экрана стабилизируют. Затем регулируют мощность, выделяемую в нагревателе, так, чтобы его температура стала равной температуре экрана. При этом поток тепла от нагревателя к экрану с высокой точностью равен нулю. Измеряем температуры нагревателя (экрана) T_1 и холодильника T_2 , мощность, выделяемую в нагревателе P . Поток тепла через образец P при таких измерениях является

суммой потоков, обусловленных его теплопроводностью R_C и его прозрачностью для излучения R_E . Зная R_C и R_E , определяем собственные характеристики исследуемого материала [127].

Удельную теплопроводность материала рассчитывают по формулам: $D = R_C d / (A(T_1 - T_2))$, где $A = 70 \text{ см}^2$ - площадь пластины нагревателя и d - толщина образца. Глубина проникновения теплового излучения в материал: $d_M = d / \ln(R_{E0}/R_E)$, где R_{E0} - мощность излучения, идущая от нагревателя к холодильнику в отсутствие образца. Подаваемое напряжение U измеряет вольтметр - цифровой с точностью измерения напряжения (не более 0,5%) в диапазоне от 1 до 9,99 В. Мощность, выделяемая в нагревателе равна: $P = U^2/R$. Соответственно доступный диапазон измерений выделяемой в нагревателе мощности с точностью не более 1% - от 0.05 до 20 Вт [127].

Размер образцов 83x85 мм. Определить толщину образца и положить его на столик и накрыть крышкой. Включить компьютер и соединить установку с USB-портом, запустить программу VM1707.exe и проверить наличие показаний датчиков температуры. Присоединить и включить водяное охлаждение, проверить изменение температуры датчиков. Выставить желаемый набор температур включения и выключения необходимого термостата в программе VM1707.exe, установить тумблер В1 в соответствующее положение «нагревание» или «охлаждение» теплового экрана. Включить общее питание установки. Включить тумблер В2 питания схемы управления стабилизирующего температуру экрана элемента Пельтье. Поворотом регулятора ТХ со встроенным тумблером В5 включить и настроить необходимую температуру холодильника. Проконтролировать изменение температуры датчиков и правильность работы термостатов. Выставить тумблером В3 нужное сопротивление нагревателя R (для материалов с малой теплопроводностью - 20 Ом, с большой - 5 Ом). Включить нагреватель тумблером В4 и добиться стационарного режима, в котором температура нагревателя равна температуре экрана. Записать значения напряжения U и сопротивления нагревателя R, температур нагревателя T_1 , экрана T_1 и холодильника T_2 , толщины образца d . Провести набор измерений, выделить

доли мощности P_C и P_E , обусловленные теплопроводностью и тепловым излучением, и вычислить значения удельной теплопроводности материала D и глубины проникновения теплового излучения в материал образца d_M . Следует учитывать, что в имеющих малую теплопроводность и большую теплоемкость C_m материалах процесс установления температуры происходит медленно. Время установления τ пропорционально квадрату толщины образца: $\tau = C_V d^2 / D$. Объемная теплоемкость C_V в свою очередь равна произведению массовой теплоемкости C_m на плотность материала ρ : $C_V = \rho C_m$. [127].

Таблица 2.5 - Тепловые характеристики материалов [127].

Характеристика	кремний	алюминий	медь	полистирол	пенополи-стирол	вода	воздух	стекло-текстолит	кожа сухая	вата х/б
Плотность ρ , г/см ³	2.33	2.69	8.96	1.1	0.1	1.00	.0013	1.75	0.86	0.05
Теплоемкость C_m , Дж/(г·К)	0.70	0.84	0.38	1.2	1.2	4.2	1.01	1.2	2.0	1.6
Теплоемкость ед. объема C_V , Дж/(см ³ ·К)	1.63	2.39	3.42	1.3	0.1	4.2	.0013	2.1	1.7	0.08
Теплопроводность D , Вт/(м·К)	150	235	400	0.08	0.01	0.61	.0262	0.4	0.17	.035
Время релаксации температуры τ , с	1.1	1.0	0.85	1600	1000	690	5.0	530	1000	230

Испытания оценки кинетики температуры и влажности пододежного пространства осуществляли на установке измерения температуры и влажности материалов и пакетов одежды, разработанной на кафедре МТЭ (рисунок 2.3). Установка содержит корпус 1, оснащенный нагревателем 2, жидкость 3, емкость 4, сетку с сукном 5, датчик внутренний 6, специальный крепеж 7, образец 8, съемную внешнюю сетку 9; внешний датчик 10, Работа установки описана в работе [128].

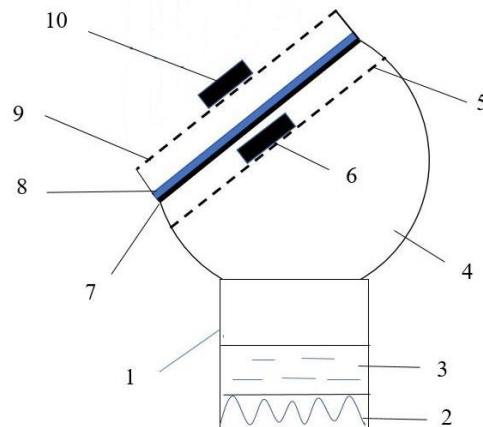


Рисунок 2.3 - Установка для оценки кинетики температуры и влажности в материалах и пакетах одежды

Образец 8 материала (пакета) размером 20x19 см герметично закреплен на скошенной горловине емкости 4. Внутри корпуса 1 расположен регулируемый нагревательный элемент 2, который поддерживает температуру воздуха не выше 36°C. Непосредственно под материалом на специальной сетке с сукном 5, для равномерного распределения пара и имитации испарения тела человека, закрепляется внутренний датчик 6. С наружной стороны на сетчатом кольце 9 размещен второй внешний датчик 10. Измерения фиксируются в специально написанной программе на дисплее компьютера. Термометр гигрометр построен на базе аппаратной платформы Arduino UNO. Оборудован 2-мя датчиками температуры и влажности DHT-22 с возможностью расширения (рисунок 2.4) [128].

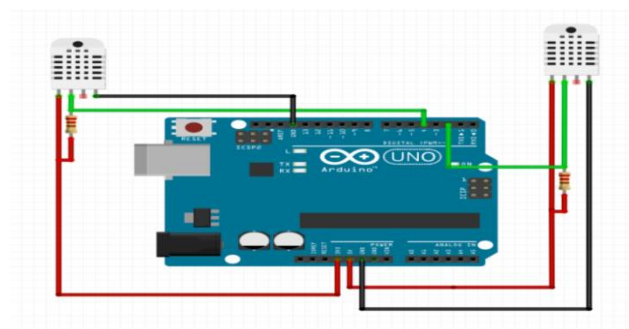


Рисунок 2.4 - Схема термометра гигрометра на базе Arduino Uno

Arduino Uno - контроллер построен на ATmega328. Платформа имеет 14 цифровых вход/выходов, 6 аналоговых входов, кварцевый генератор 16 МГц, разъем USB, силовой разъем, разъем ICSP и кнопку перезагрузки. Для работы необходимо подключить платформу к компьютеру посредством кабеля USB, либо подать питание при помощи адаптера AC/DC или батареи [128].

Выводы по главе 2

Таким образом, в результате анализа были выбраны объекты исследования. С учетом требований и рекомендаций стандартов были выбраны методы определения физико-механических свойств текстильных материалов, а также описаны не стандартные, известные методы изучения структуры и свойств мембранных тканей, нетканых утеплителей и пакетов одежды.

Глава 3 ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ФАКТОРОВ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА МЕМБРАННЫХ ТКАНЕЙ ДЛЯ ОДЕЖДЫ

Современные изделия с водозащитными свойствами это, прежде всего, одежда из мембранных материалов, которая широко применяется в специальной, профессиональной, повседневной одежде, изделиях для активного отдыха как демисезонного, так и зимнего назначения. На современном рынке представлено огромное количество материалов и изделий, изготовленных с использованием мембран и мембранных тканей. Однако информации о качестве, особенностях структуры и свойствах мембранных тканей в основном носит рекламный характер. Учитывая инновационность и привлекательность использования мембранных тканей в качестве ткани верха швейных изделий, то исследование структуры и свойств мембранных тканей, установление их взаимосвязи и изменение под воздействием эксплуатационных и производственных факторов является актуальной проблемой, поскольку позволит обоснованно конфекционировать материалы в пакет одежды.

3.1 Определение значимости показателей качества текстильных материалов с мембранным покрытием

Прежде чем приступить к исследованию свойств мембранных тканей, определим наиболее значимых показатели качества, которые необходимо знать и предстоит исследовать в данной работе. Для этого воспользуемся известными методами анализа, такими как: системный статистический метод определения причин возникновения проблем или диаграмма Исикавы и экспертный метод или метод ранжирования мнения экспертов [129-132].

Требования к мембранным тканям изложены в стандартах ГОСТ Р 57514-2017 ИСО 8096:2005 и ГОСТ 28486-90 [133, 26]. В соответствии с этими стандартами, контролю подлежат показатели: водонепроницаемости, разрывной и

раздирающей нагрузок, устойчивости к истиранию и стирке, а также устойчивости окраски при различных воздействиях. Однако отсутствуют важные характеристики, обеспечивающие длительный комфорт при эксплуатации одежды, такие как: гигроскопичность, паропроницаемость, воздухопроницаемость, водопоглощаемость, жесткость, устойчивость материала к повышенным/пониженным температурам и другие. Таким образом, в результате анализа были выбраны единичные и групповые показатели качества мембранных тканей, представленные в (таблице 3.1).

Таблица 3.1 - Единичные и групповые показатели качества мембранных тканей

№ кода	Групповые и единичные показатели качества	№ кода	Групповые и единичные показатели качества
1	Функциональные (защитные)	3	Гигиенические
1.1	Водонепроницаемость	3.1	Паропроницаемость
1.2	Устойчивость к пониженным температурам	3.2	Гигроскопичность
1.3	Воздухопроницаемость	3.3	Воздухопроницаемость
1.4	Водоупорность	3.4	Пылепроницаемость
1.5	Прорубаемость в швах		
1.6	Устойчивость к многократному изгибу	4	Экономические
1.7	Теплостойкость	4.1	Материалоемкость
1.8	Устойчивость к действию светопогоды	4.2	Технологические показатели
1.9	Устойчивость к действию повышенных температур	4.3	Стоимость
1.10	Отстирываемость	4.4	Трудоемкость изделия
2	Эксплуатационные	5	Эргономические
2.1	Прочность при разрыве	5.1	Поверхностная плотность
2.2	Прочность связи между слоями	5.2	Жесткость
2.3	Нагрузка при раздирании	5.3	Эластичность
2.4	Устойчивость к действию стирки	5.4	Толщина
2.5	Растяжимость	5.5	Растяжимость
2.6	Электризуемость		
2.7	Формоустойчивость		
2.8	Загрязняемость		

С целью систематизации и выявления наиболее значимых показателей качества мембранных тканей, проведем анализ методом диаграммы Исикавы.

Диаграмма позволяет в простой и доступной форме систематизировать все потенциальные причины рассматриваемых проблем, выделить самые существенные и провести по уровневый поиск первопричины. План действий по Исикавы включающий: сбор и систематизация всех причин, прямо или косвенно влияющих на исследуемую проблему; группировка причин по смысловым и причинно-следственным блокам; ранжирование их внутри каждого блока; анализ получившейся картины, который подробно описан в (приложении В). На основе анализа показателей (таблица 3.1) методом мозгового штурма и согласованности экспертов, определили наиболее значимые показатели качества, которые представлены в виде схемы диаграммы Исикавы на (рисунке 3.1).

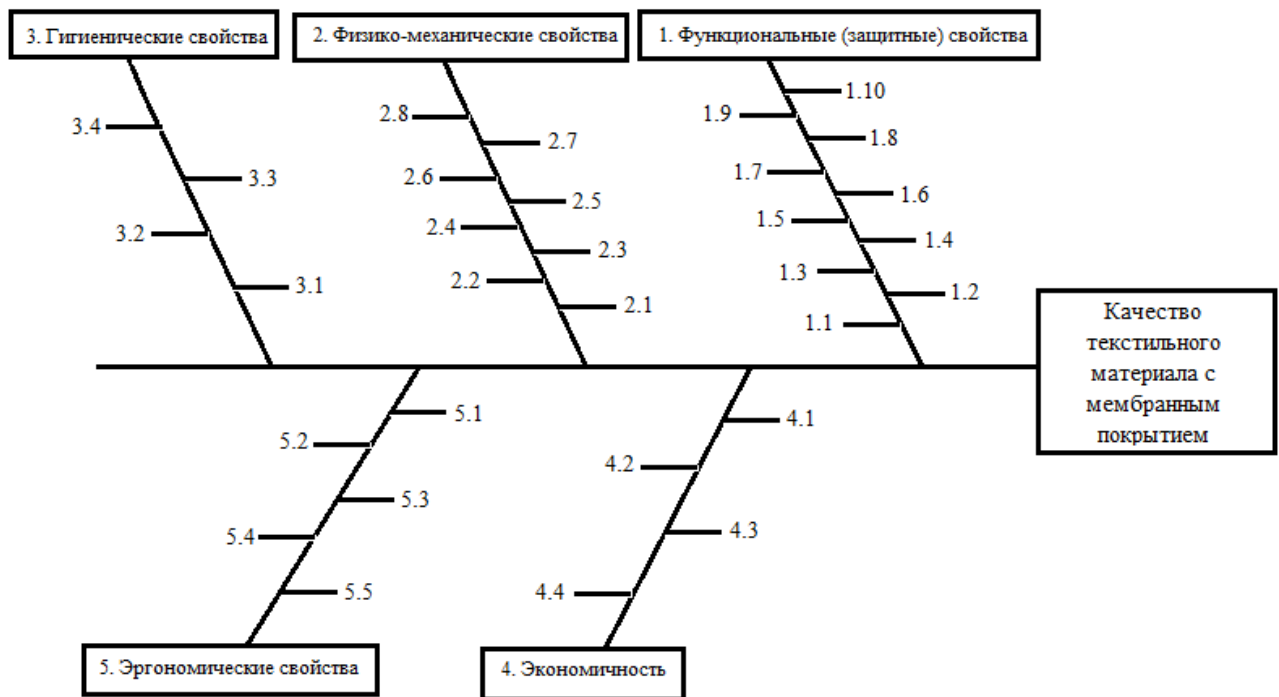


Рисунок 3.1 – Схема-диаграмма Исикавы

Проведя анализ проблемы с помощью причинно-следственной диаграммы, выявили структуру проблемы. Рассмотрение проблемы через призму отношений между элементами системы позволило выявить цепочку причинно-следственных зависимостей, не позволяющих достичь максимальной эффективности. В результате анализа выявлены наиболее значимые показатели:

водонепроницаемость, устойчивость к пониженным температурам, воздухопроницаемость, прочность при разрыве, устойчивость к действию стирки, прочность связи между слоями, нагрузка при раздирании, прорубаемость в швах, паропроницаемость, гигроскопичность, материалоемкость, технологические показатели, поверхностная плотность, жесткость при изгибе [134].

Для выявления наиболее значимых показателей мембранных тканей, на основе анализа нормативно-технических документов на текстильные материалы с мембранным покрытием [133, 26], выбраны 25 показателей, которые легли в основу разработанной анкеты - опроса мнений специалистов и потребителей (приложение Г) о качестве и надежности мембранных тканей. Обработку данных опроса мнения 10 экспертов проводили с помощью программного обеспечения. Подробная математическая процедура обработки данных представлена в (приложении Д).

Ранговая оценка осуществлялась присвоением каждому показателю ранга значимости, при условии, что самый значимый показатель оценивается рангом 1, самый незначимый - 25. Статистическая обработка экспертных оценок сводилась к расчету коэффициента конкордации, определяющего согласованность мнений экспертов по совокупности критериев, оценке значимости по критерию Пирсона и определению коэффициентов значимости каждого показателя [129, 130]. Результаты опроса мнения экспертов представлены в (таблице 3.2).

В результате ранжирования мнения экспертов (таблица 3.3), определены наиболее значимые, по их мнению, показатели качества мембранных тканей для одежды, которые представлены в виде диаграммы (рисунок 3.2). Чем меньше сумма рангов, тем более значим показатель качества материала.

Учитывая, что коэффициент конкордации W ,

$$W = \frac{12 \cdot \sum_{j=1}^n (S_j - \bar{S}_j)^2}{m^2 \cdot (n^3 - n) - m \cdot \sum_{j=1}^m T_{ji}} = 0,565$$

существенно отличается от нуля, то можно считать, что между мнениями экспертов имеется связь.

Таблица 3.2 - Результаты опроса мнения экспертов

№ п/п	Шифр свойства	Наименование свойства	Место требования, присвоенное экспертом									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	X ₁	Воздухопроницаемость	20	6	3	1	11	4	1	4	12	3
2	X ₂	Паропроницаемость	21	5	2	7	2	1	3	3	1	2
3	X ₃	Пылепроницаемость	22	17	23	21	12	14	15	17	13	16
4	X ₄	Водонепроницаемость	1	1	1	2	1	3	2	1	2	1
5	X ₅	Жесткость при изгибе	24	12	15	6	18	15	22	16	11	4
6	X ₆	Устойчивость при многократном изгибе	17	11	16	9	7	8	11	15	10	7
7	X ₇	Устойчивость к мокрым обработкам	5	23	21	12	10	5	5	7	14	10
8	X ₈	Водоупорность	4	4	8	10	17	7	6	6	6	9
9	X ₉	Устойчивость к действию пониженных температур	3	3	9	11	6	6	4	5	5	8
10	X ₁₀	Растяжимость	23	10	17	13	13	16	23	23	15	17
11	X ₁₁	Прочность связи между слоями	2	2	10	14	3	17	14	18	4	18
12	X ₁₂	Гигроскопичность	13	9	4	3	4	2	13	2	3	11
13	X ₁₃	Прорубаемость	19	7	7	4	5	19	12	14	9	6
14	X ₁₄	Электризуемость	18	18	11	5	23	18	21	13	19	19
15	X ₁₅	Загрязняемость	11	22	24	22	19	20	10	19	25	22
16	X ₁₆	Водопоглощаемость	14	16	6	19	14	21	16	12	8	21
17	X ₁₇	Нагрузка при разрыве	6	13	18	15	8	10	19	10	17	12
18	X ₁₈	Толщина	7	15	19	17	22	22	20	11	18	13
19	X ₁₉	Формуемость	15	21	14	23	24	23	25	25	20	24
20	X ₂₀	Формоустойчивость	16	20	12	16	20	9	9	20	24	23
21	X ₂₁	Прочность при раздирании	8	14	5	8	15	24	18	8	7	5
22	X ₂₂	Отстирываемость	12	25	25	25	16	11	17	9	23	20
23	X ₂₃	Токсичность химического состава	25	24	22	24	25	25	24	24	22	25
24	X ₂₄	Теплостойкость	9	8	20	20	9	13	8	21	16	14
25	X ₂₅	Устойчивость к действию микроорганизмов	10	19	13	18	21	12	7	22	21	15

Тем не менее, эксперты неодинаково ранжируют требования (найденное значение W намного отличается от единицы). Критерий Пирсона X_p^2 , рассчитывали по формуле: $X_p^2 = W \cdot m(n - 1) = 135,61$, где n - количество свойств, $n = 25$; $m=10$ - количество экспертов. Сравнив расчетное значение X_p^2 с табличными данными, взятыми при достоверности $P=0,05$, для $(n-1)=25-1=24$, получим $X_p^2=36,42$.

Таблица 3.3 - Результаты ранжирования мнений экспертов

№ п/п	Номер эксперта	Ранговая оценка свойства																									$\sum_{i=1}^n R_{ij}$	T_{ij}
		X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀	X ₁₁	X ₁₂	X ₁₃	X ₁₄	X ₁₅	X ₁₆	X ₁₇	X ₁₈	X ₁₉	X ₂₀	X ₂₁	X ₂₂	X ₂₃	X ₂₄	X ₂₅		
1	1	20	21	22	1	24	17	5	4	3	23	2	13	19	18	11	14	6	7	15	16	8	12	25	9	10	325	
	2	6	5	17	1	12	11	23	4	3	10	2	9	7	18	22	16	13	15	21	20	14	25	24	8	19	325	
	3	3	2	23	1	15	16	21	8	9	17	10	4	7	11	24	6	18	19	14	12	5	25	22	20	13	325	
	4	1	7	21	2	6	9	12	10	11	13	14	3	4	5	22	19	15	17	23	16	8	25	24	20	18	325	
	5	11	2	12	1	18	7	10	17	6	13	3	4	5	23	19	14	8	22	24	20	15	16	25	9	21	325	
	6	4	1	14	3	15	8	5	7	6	16	17	2	19	18	20	21	10	22	23	9	24	11	25	13	12	325	
	7	1	3	15	2	22	11	5	6	4	23	14	13	12	21	10	16	19	20	25	9	18	17	24	8	7	325	
	8	4	3	17	1	16	15	7	6	5	23	18	2	14	13	19	12	10	11	25	20	8	9	24	21	22	325	
	9	12	1	13	2	11	10	14	6	5	15	4	3	9	19	25	8	17	18	20	24	7	23	22	16	21	325	
	10	3	2	16	1	4	7	10	9	8	17	18	11	6	19	22	21	12	13	24	23	5	20	25	14	15	325	
2; 3	S_i	65	47	170	15	14 3	111	112	77	60	170	102	64	102	165	194	147	128	164	214	169	112	183	240	138	158	3250	
4	$\Delta i = S_i - \bar{S}_i$	-	-83	40	-115	13	-19	-18	-53	-70	40	-28	-66	-28	35	64	17	-2	34	84	39	-18	53	110	8	28		
5	$(\Delta i_i)^2 =$ $(S_i - \bar{S}_i)^2$	42 25	688 9	160 0	1322 5	16 9	361	324	280 9	490 0	160 0	784	435 6	784	122 5	409 6	289	4	115 6	705 6	152 1	324	280 9	121 00	64	784		
6	b _i коэф весом	0,0 6	0,06 6	0,0 28	0,075	0, 03 6	0,0 46	0,0 46	0,0 56	0,0 62	0,0 28	0,0 49	0,0 6	0,0 49	0,0 29	0,0 2	0,0 35	0,0 41	0,0 3	0,0 14	0,0 28	0,0 46	0,0 24	0,00 6	0,03 8	0,031		
7	b _j коэф значим	0,8	0,85 5	0,4 77	0,954	0, 56	0,6 58	0,6 55	0,7 63	0,8 15	0,4 77	0,6 86	0,8 03	0,6 86	0,4 92	0,4 03	0,5 48	0,6 06	0,4 95	0,3 42	0,4 8	0,6 55	0,4 37	0,26 2	0,57 5	0,514		
8	$\sum_{i=1}^n (\Delta i_i)^2$																										73454	
9	$\sum_{j=1}^m T_{ji}$	X 23																										

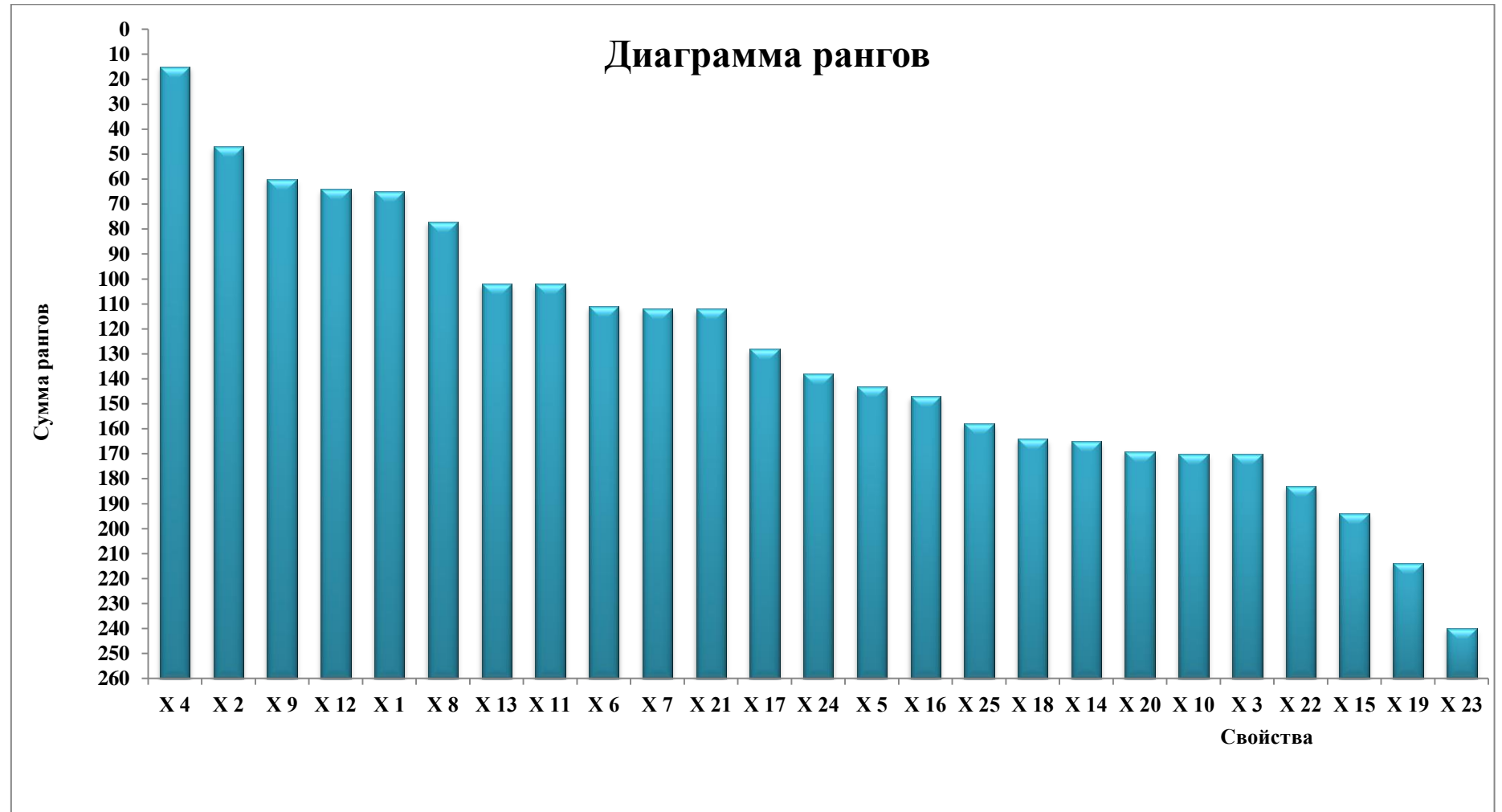


Рисунок 3.2 - Распределение по значимости показателей качества мембранных тканей

Так как табличное значение критерия меньше расчетного, то можно с 95%-й доверительной вероятностью сделать вывод, что коэффициент конкордации является значимым, т.е. оценки экспертов согласованы.

Таким образом, результаты ранжирования мнения экспертов (рисунок 3.2), позволили систематизировать и расположить показатели качества в ряд по мере убывания их значимости. Рассчитанные коэффициенты значимости и весомости каждого показателя подтверждают мнение экспертов о распределении показателей качества, отвечающих требованию значимости/весомости, представлены в порядке убывания (таблица 3.4). Показатель считается значимым, если его коэффициент весомости $b_i > 1/n$, т.е. $b_i > 0,04$ [129-132].

Коэффициенты весомости каждого из объектов ранжирования $b_{i\text{ранг}}$ (при условии, что сумма всех коэффициентов весомости $b_{i\text{ранг}}$ от 1 до n равна единице) рассчитывается по формуле: $b_{i\text{ранг}} = (n - r_n + 1)/S_n$, где n – число исследуемых объектов; r_n – результирующий ранг исследуемого объекта, рассчитываемый по формуле: $r_n = S_i/m$, где S_n – сумма результирующих рангов; m – количество экспертов; S_i – сумма рангов единичного объекта. Относительная значимость единичного показателя, b_j , рассчитывается по формуле: $b_j = 1 - S_i / \sum R_{ij}$, где $\sum R_{ij}$ – сумма рангов для каждого эксперта [129-132].

Таким образом, из 25 анализируемых показателей 14 являются наиболее значимыми, остальные незначимые, что согласуется с выше описанными данными, полученными другими методами.

К значимым показателям относятся: водонепроницаемость, паропроницаемость, устойчивость к действию пониженных температур, гигроскопичность, воздухопроницаемость, водоупорность, прорубаемость, прочность связи между слоями, устойчивость при многократном изгибе, устойчивость к мокрым обработкам, нагрузка при раздирании, нагрузка при разрыве, теплостойкость, жесткость при изгибе.

Установленные значимые показатели качества были экспериментально определены для выбранных мембранных тканей отечественного и зарубежного производства, предназначенных в качестве ткани верха одежды.

Таблица 3.4 – Оценка весомости значимых показателей качества мембранных тканей

Шифр свойств а	Наименование свойства	Коэффициент весомости показателя, $b_{i\text{ранг}}$	Относительная значимость единичного показателя, b_j
X ₄	Водонепроницаемость	0,08	0,95
X ₂	Паропроницаемость	0,07	0,86
X ₉	Устойчивость к действию пониженных температур	0,06	0,82
X ₁₂	Гигроскопичность	0,06	0,8
X ₁	Воздухопроницаемость	0,06	0,88
X ₈	Водоупорность	0,06	0,76
X ₁₃	Прорубаемость иглой	0,05	0,69
X ₁₁	Прочность связи между слоями	0,05	0,69
X ₆	Устойчивость при многократном изгибе	0,05	0,66
X ₇	Устойчивость к мокрым обработкам	0,05	0,66
X ₂₁	Нагрузка при раздирании	0,05	0,66
X ₁₇	Нагрузка при разрыве	0,04	0,61
X ₂₄	Теплостойкость	0,04	0,58
X ₅	Жесткость при изгибе	0,04	0,56
X ₁₆	Водопоглощаемость	0,03	0,55

Выявленные значимые показатели рекомендуется учитывать в требованиях к мембранным тканям для одежды и при проектировании нового ассортимента мембранных тканей и конфекционировании материалов в пакет одежды.

3.2 Исследование структуры и свойств мембранных материалов, формирующих пакеты утепленной одежды

Расширение ассортимента текстильных материалов, связанное с созданием новых видов волокон, нитей и полотен из них, и появлением интеллектуальных дышащих материалов нового поколения с мембранным покрытием, для которых показатель паропроницаемости является одним из основных, определяющих их комфорт и конкурентоспособность одежды, подтверждают актуальность данных исследований. Однако информация о структуре и свойствах тканей с мембранным покрытием очень ограничена, поэтому предстояло изучить структуру и свойства

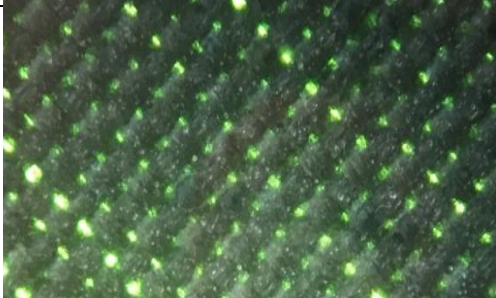
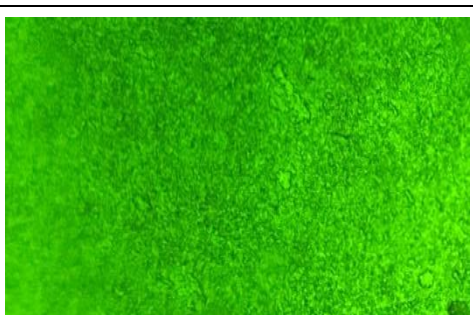
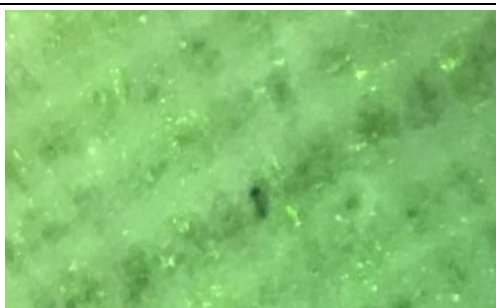
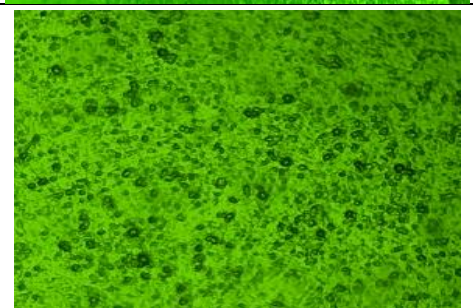
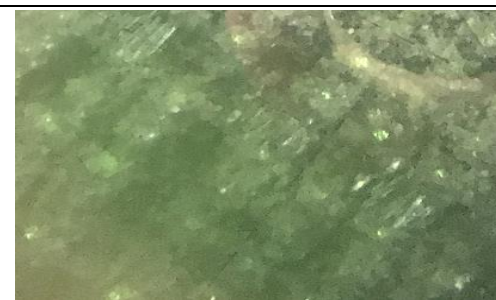

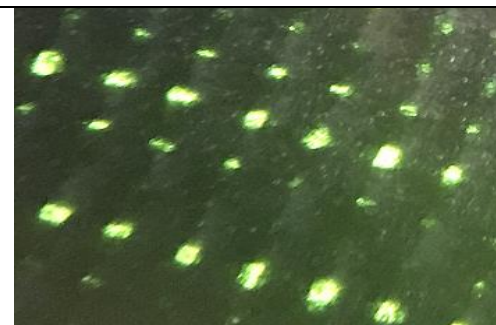
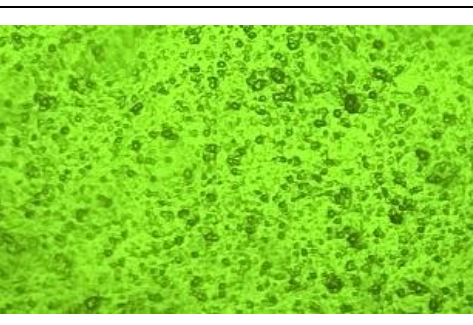
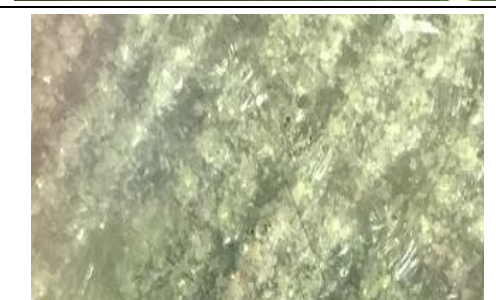

мембранных тканей, которые рекомендуются для изготовления утепленных и облегченных курток, комбинезонов и других изделий бытового, спортивного и специального назначения [135 - 137, 229, 230].

Объектом исследования являлись мембранные ткани разных производителей: отечественных ОАО «Балтекс», ОАО «Моготекс», ООО ГК «Чайковский текстиль», а также зарубежных: Gore-Tex (США), Sympatex Technologies (Германия), Toray и Unitika (Япония), компании KFM (KolonFashion Materials) (Республика Корея) и другие. Характеристики структуры выбранных для исследования мембранных тканей отечественных производителей представлены в (таблице 2.1) и зарубежных производителей в (таблице 2.2).

Установлено, что все мембранные ткани с изнаночной стороны защищены мембранами зарубежного производства. Толщина мембран в пределах 0,019-0,028 мм, что не будет значительно утяжелять ткань. Основная ткань из синтетических полиамидных или полиэфирных нитей, плотной структуры, плотность по основе в интервале 509-516, по утку 395-440 нитей на 10 см. Ширина тканей одинаковая на всех образцах - 150 см [135, 136, 137]. Исследование свойств проводили по стандартным методам в соответствии с ГОСТ 10550-93, ГОСТ 6611.2-73, ГОСТ 18976-73, ГОСТ 28486-90 и ГОСТ 30292-96, ГОСТ Р ИСО 11092-2012 и ISO 15496-2004, ГОСТ 12088-77, ГОСТ 3816-81 (ИСО 811-81). Обработку экспериментальных данных осуществляли с применением методов математической статистики по ГОСТ Р 8.736-2011.

Исследование структуры и свойств мембранных тканей отечественных производителей показало, что по данным оптической микроскопии (таблица 3.5) поверхность мембранной ткани арт. С 911М мелкозернистая и при увеличении 1000 микропоры слабо различимы. Поверхность мембраны ткани арт. 09С20 - мелкозернистая, с равномерно распределенными порами разного размера по всей поверхности. Мембрана образца ПЭ/М 003.19 имеет монолитную, равномерную, беспоровую структуру. Мембранная ткань арт. 09С13-КВ имеет пористую структуру, похожую на образец мембранной ткани арт. 09С20-КВ. Структура мембранной ткани арт. 80021 ППУ однородная, монолитная.

Таблица 3.5 - Данные оптической микроскопии структуры мембранных тканей отечественных производителей

Наименование образцов	Ткань с мембранным покрытием, увеличение 1000	Структура мембраны, увеличение 1000
Образец 1. Мембранная ткань арт. С 911М		
Образец 2. Мембранная ткань арт. 09С20-КВ		
Образец 3. Мембранная ткань арт. ПЭ/М 003.19		
Образец 4. Мембранная ткань арт.09С13-КВ		
Образец 5. Мембранная ткань арт. 80021		

Оптическая микроскопия поверхности мембранных тканей с лицевой стороны, со стороны текстиля, оказалась не результативной.

Исследование механических свойств тканей с мембранным покрытием позволило установить (таблица 3.6), что все образцы мембранных тканей отвечают нормативным требованиям ГОСТ 28486-90. Все мембранные ткани характеризуются высокой устойчивостью к истиранию по плоскости 36750-71800 циклов, упругостью, несминаемостью более 80% по основе и 79% по утку, и жесткость при изгибе не превышает 7200 мкН·см² (рисунок 3.3).

Таблица 3.6 - Механические свойства мембранных тканей для одежды отечественного производства

Наименование образцов	Прочность расслаивания ткани и мембраны, Н/см	Раздирающая нагрузка ткани, кгс	Несминаемость, %	Разрывная нагрузка, Рр, кгс, основа / уток	Удлинение при разрыве, Лр, %, основа / уток	Истирание по плоскости, циклы
Мембранная ткань арт. С 911М	7,8	15/17	83/84	63,8/47,4	59,3/65,8	47130
Мембранная ткань арт. 09С20-КВ	7,2	15/12	81/79	60,5/47,3	47,3/54,3	36750
Мембранная ткань арт. ПЭ/М 003.19	8,1	7,8/7,6	80/71	75,5/96,8	46,3/58,3	50400
Мембранная ткань арт.09С13-КВ	7,6	22/16	84/87	68,5/98,0	46,5/42,9	71800
Мембранная ткань арт. 80021	8,5	6,6/6,5	86/89	91,8/74,4	54,6/66,0	42010

Примечание: коэффициент вариации по показателям свойств не превышал 4,8%

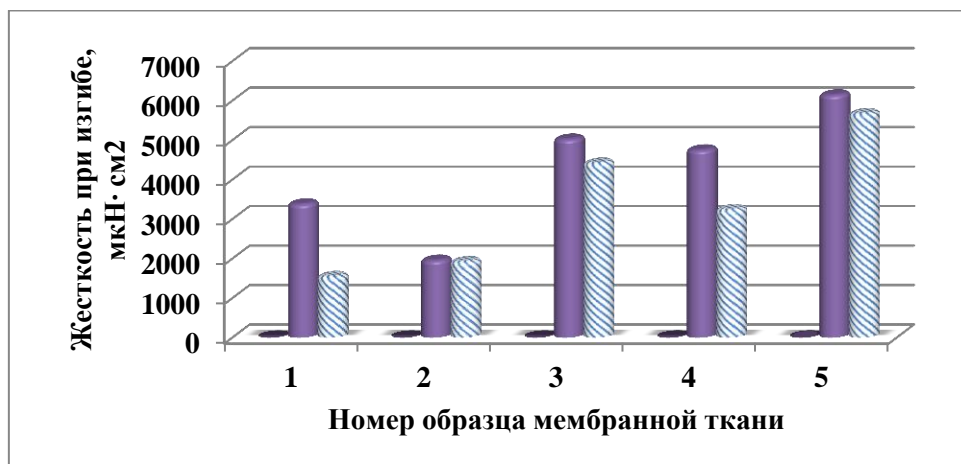


Рисунок 3.3 – Показатели жесткости при изгибе (■ - по основе, ▨ - по утку) мембранных тканей: 1 – арт. С 911М; 2 - арт. 09С20-КВ; 3 - арт. ПЭ/М 003.19; 4 - арт.09С13-КВ; 5 - арт. 80021

Мембранные ткани характеризуются высокой прочностью при одноосном растяжении до разрыва более 60 кгс по основе и более 47 кгс по утку. Удлинение образцов более 40%, что характеризует мембранные ткани как малой растяжимости. Все ткани характеризуются достаточно высокой 7,2-8,5 Н/см прочностью при расслаивании мембраны и текстильной основы, что говорит о хорошей адгезии между полимерными пленками мембран и синтетическими нитями текстиля. Ткани обладают высокой устойчивостью к раздиранию, что очень важно как для спортивной одежды, так и для рабочей спецодежды, например рыболовов, или армейского обмундирования [135, 136, 137].

Сравнивая между собой мембранные ткани по показателям механических свойств можно выделить ткани арт. ПЭ/М 003.19 (ОАО «Моготекс») и Мембранная ткань арт. 80021 ППУ (ООО ГК «Чайковский текстиль») как наиболее прочные и износостойкие.

Исследование физических свойств тканей с мембранным покрытием выявило (таблица 3.7), что показатели свойств зависят от метода испытания. Так по стандартной методике ГОСТ 22900-78 [118] мембранные ткани обладают низкой коэффициентом паропроницаемости 1,89- 4,91г/м²ч, что характеризует мембранные ткани, как материалы с плохими гигиеническими характеристиками. Однако это не соответствует действительности и обусловлено несовершенством методов и методик испытания и их непригодностью для исследования свойств материалов нового поколения, поскольку они не способны создавать требуемую разность давления по обе стороны материалов. Поэтому испытание на паропроницаемость дополнительно провели на современном оборудовании, приборе для измерения паропроницаемости TSY-W3 при воздействии пара (ГОСТ Р ИСО 11092-2012). Это позволило установить, что мембранные ткани арт. С 911М и арт. ПЭ/М 003.19 характеризуются высокой паропроницаемостью. Водоотталкивание этих тканей – 90 усл.ед., к поверхности пробы прилипли отдельные маленькие капли воды.

Ткани мембранные арт. 09С20-КВ и арт. 80021 кроме мембранной защиты имеют поверхностную водоотталкивающую отделку лицевой стороны тканей,

поэтому на поверхности пробы не остаются капли воды, а водоотталкивание оценивается как 100 усл.ед. Дополнительная отделка снижает паропроницаемость мембранных тканей до 446 и 600 г/м²·24ч и влагопоглощение до 0,18 и 0,46%, соответственно [135, 136, 137].

Таблица 3.7 - Показатели физических свойства мембранных тканей для одежды отечественного производства

Наименование образцов	Паропроницаемость (водяным паром), г/м ² ·24ч	Коэффициент паропроницаемости, г/м ² ·ч	Воздухопроницаемость, дм ³ /м ² ·с	Водоупорность, мм.вод ст,	Водоотталкивание, усл.ед,	Влагопоглощение, %
Мембранная ткань арт. С 911М	5500	4,91	<6,9	2100	90	1,98
Мембранная ткань арт. 09С20-КВ	446	2,89	<6,9	8900	100	0,18
Мембранная ткань арт. ПЭ/М 003.19	2800	3,86	<6,9	2070	90	1,96
Мембранная ткань арт.09С13-КВ	520	2,23	<6,9	400	80	2,49
Мембранная ткань арт. 80021	900	3,02	<6,9	8800	100	0,46

Примечание: коэффициент вариации по показателям свойств не превышал 3,9%

Мембранная ткань арт.09С13-КВ легко смачивается, влагопоглощение 2,49%, однако смоченная поверхность намного меньше, чем 1/3 часть всей пробы, увлажненные места встречаются в виде отдельных небольших пятен, поэтому водоотталкивание оценивается как 80 усл.ед. Все мембранные ткани характеризуются очень низкой воздухопроницаемостью, менее 7 дм³/м²·с.

Сравнительный анализ показателей водоупорности и паропроницаемости показал (рисунок 3.4), что при высоких показателях водоупорности паропроницаемость стремится к минимуму. К настоящему времени сформировалась теория, объясняющая способность текстильных материалов к проницаемости и поглощению. Поглощение веществ структурой текстильных материалов соединенных с мембранными пленками представляет собой весьма

сложный процесс, рассмотренный в работах [86, 88, 89, 90, 91, 138, 139].

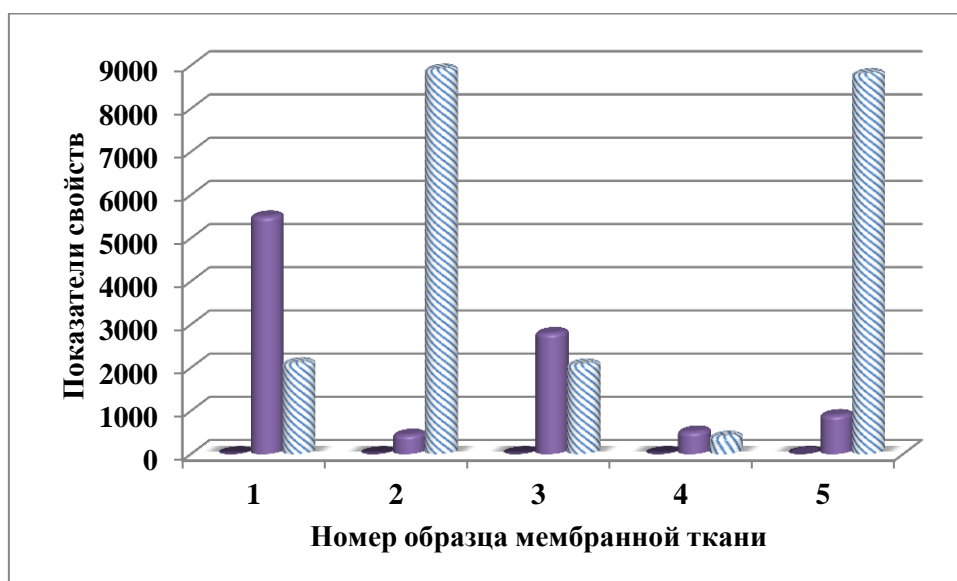




Рисунок 3.4 - Показатели свойств:  - паропроницаемости, г/м² 24ч,  - водоупорности, мм.вод ст, мембранных тканей: 1 – арт. С 911М; 2 - арт. 09С20-КВ; 3 - арт. ПЭ/М 003.19; 4 - арт.09С13-КВ; 5 - арт. 80021

Проницаемость мембран определяется структурой мембраны - поровая или беспоровая. Паропроницаемые свойства поровой мембраны определяются тем, что размер пор мембраны (с радиусом меньше 10^{-7} м) в ~ 700 раз превышает размер молекулы водяного пара, поэтому испарения проникают сквозь мембрану и выводятся наружу. При этом производитель утверждает, что пропускная способность мембран достигает 1 л водяного пара в час. Перемещение пара происходит за счет разницы давлений по обе стороны мембраны. Капиллярное давление, которое создается в порах против давящего сверху столба воды можно рассчитать, если принять поры в виде правильной круглой формы в сечении капилляр с абсолютно несмачивающимися водой стенками. Вода образует в таком капилляре сферический выпуклый мениск. В таком приближении оценить капиллярное давление позволяет уравнение Лапласа: $\Delta p = 2\sigma/r$, где 2σ - поверхностное натяжение воды, а r - радиус кривизны мениска [86, 89, 135, 136].

В нашем приближении (мениск сферический) радиус кривизны мениска равен радиусу самой поры. Поверхностное натяжение воды при температуре 20

°С равно 72,7 мДж/м². Соответственно, капиллярное давление для пор радиусом 0,1225 микрон с учетом того, что размер пор мембраны в 700 раз превышает размер молекулы водяного пара (из данных производителей мембран), средний диаметр которой равен 3,5 ангстрема (0,35 нанометра), будет равно:

$$\Delta p = \frac{2 \cdot 72,7 \cdot 10^{-3}}{1,225 \cdot 10^{-7}} = 11,8 \cdot 10^5 \text{ Па} \approx 12 \text{ атм}$$

Таким образом, только за счет капиллярного давления, мембрана выдерживает давление почти 12000 мм.вод.ст., и за счет гидрофобности полимерных участков этот показатель может быть примерно на 0,5 атм. увеличен. При более низких температурах высота столба увеличится, так как поверхностное натяжение воды растет при уменьшении температуры [137, 154].

Однако если в результате высокого давления влаги мембрана напитана водой, то капиллярные явления не наблюдаются, за счет того, что искривленной поверхности раздела фаз (жидкость-воздух) в порах, обеспечивающей избыточное давление, не существует. В результате, вода сквозь мокрую мембрану начинает проникать в пододежное пространство. Эффект избыточного давления может быть вызван не только водой осадков, но любым мокрым объектом, который длительно соприкасается с поверхностью мембранной ткани. Поэтому можно сделать вывод, что мембранная ткань арт.09С13-КВ способна обеспечить кратковременную защиту от атмосферных осадков.

В производстве швейных изделий широко используются мембранные ткани импортные, характеристика структуры которых представлена в (таблице 2.2). Результаты исследования физико-механических свойств этих тканей представлены в (таблице 3.8). Из полученных результатов видно, что мембраны всех производителей имеют пористую структуру и примерно одинаковую толщину 0,22-0,28 мм. Все образцы зарубежных мембранных тканей характеризуются высокой паропроницаемостью и водоупорностью, что и обеспечивает их высокую конкурентоспособность на мировом рынке. Для придания повышенной водоупорности верхний лицевой слой мембранной ткани образцов 3-5 дополнительно подвергают водоотталкивающей пропитке DWR, на

основе фторсодержащих или силиконов соединений.

Таблица 3.8 - Показатели качества мембранных тканей импортного производства

Номер образ-ца	Структура ткани, характеристика мембраны, обозначение, производитель	Ms, г/м ²	B _h , г/м ² 24ч	Водоупорность, мм.вод.ст	Водоотталкивание, усл.ед,	Вр, дм ³ /м ² с	Р _р , кгс, основа /уток
1	Ткань мембранная «Тогау» TSD 1716DPF2L RIP Lamination., (мембрана пористая ПТФЭ) (Япония)	140	20 000	20 000	90	<6,9	88/90
2	Ткань мембранная «Тогеу» Dermizax-2L RIP Гидрофильный полиуретан - беспоровая (Япония)	95	10 000	5 000	90	<6,9	65/71
3	Ткань мембранная -ALM049 (мембрана поровая –100% ПУ, ВО DWR), (Германия)	133	10 000	10 000	100	<6,9	68/72
4	Ткань мембранная «GORE-TEX» SPL70HS 2L, (мембрана GORE-TEX из ПТФЭ, ВО DWR) (США)	148	9 000	28 000	100	<6,9	63/59
5	Мембранная ткань арт. TSD 3008 DP3L RIP (мембрана пористая ПТФЭ) (США)	140	15 000	15 000	90	<6,9	64/58
6	Ткань мембранная арт. EAE-0765, (мембрана беспоровая, ВО DWR) (Корея)	158	10 000	7 000	100	<6,9	60/62

Примечания: ПТФЭ – политетрафторэтилен (тефлон); ВО DWR - водоотталкивающая обработка на основе фторсодержащих средств и силиконов; ПЭ –полиэфир; ПА – полиамид. Ms- поверхностная плотность; B_h- паропроницаемость; Вр – воздухопроницаемость; Р_р – разрывная нагрузка. Коэффициент вариации по показателям свойств не превышал 4,1%

Наилучшими показателями паропроницаемости и водоупорности характеризуются образцы №1, 4, 5 с пористой мембраной из политетрафторэтилена (ПТФЭ, ePTFE). Это обусловлено 2-3-х слойной структурой мембранной ткани, образованной дублированием 2-3 слоев одновременно, располагая их в следующей последовательности:

2-х слойные (2L) - основная плащевая ткань из синтетических волокон + поровая тефлоновая мембрана + защитный слой беспоровой мембраны;

3-х слойные (3L) – основная плащевая ткань из синтетических волокон + поровая тефлоновая мембрана + защитный слой нетканое или другое полотно.

По прочности при растяжении до разрыва, мембранные ткани отечественного производства не уступают зарубежным аналогам.

По данным производителя мембран из политетрафторэтилена (ПТФЭ) [140], они утоняют тефлоновую пленку растяжением до толщины 0,018-0,028 мм. Под деформацией растяжения, тефлон распадается на отдельные нано-волокна, образуя структуру, состоящую из узелков полимера пленки, соединённых между собой пучками нано-волокон (рисунок 3.5).



Рисунок 3.5 – Структура пористой из ПТФЭ мембраны Gore-Tex под электронным микроскопом [26]

Пространство между нановокнами образует огромное количество нано пор - порядка 1,7 млн. на 1 см². Их размер больше молекулы воды в парообразном состоянии, что обеспечивает высокую паропроницаемость мембранных тканей, но в тысячи раз меньше размеров жидкой капли, что придает мембранам водонепроницаемость и водоупорность. Диффузия водяного пара от тела человека во внешнюю среду осуществляется за счёт разности давления водяных паров по обе стороны материала. Поэтому дальнейшие исследования были направлены на установление взаимосвязи влажности, температуры и давления, которые обеспечивают комфорт пододежного пространства.

Таким образом, в результате проведенных исследований получены справочные данные физико-механических свойств исследуемых отечественных и импортных мембранных тканей. Отмечено влияние водоотталкивающей отделки лицевой поверхности на паропроницаемость мембранных тканей. С повышением

водоупорности тканей, паропроницаемость снижается в 2 раза и более.

Установлено, что исследуемые мембранные ткани отечественных производителей изготовлены с нанесением импортной мембраны из политетрафторэтилена или полиуретана. Все образцы мембранных тканей отвечают нормативным требованиям ГОСТ 28486-90, и характеризуются высокой прочностью при растяжении 60/47 кгс, устойчивостью к истиранию по плоскости 36750-71800 циклов и прочностью соединения слоев 7,2/8,5Н/см, обладают упругостью, несминаемостью более 80/79% и невысокой жесткостью при изгибе $<7200 \text{ мкН}\cdot\text{см}^2$. Все образцы зарубежных мембранных тканей характеризуются высокой паропроницаемостью и водоупорностью, за счет нанопористой структуры мембран и нанослоя защитного водоотталкивающего покрытия DWR, что и обеспечивает их высокую конкурентоспособность на мировом рынке.

3.3 Исследование кинетики прохождения влаги и изменения температуры пододежного пространства изделий из мембранных тканей

Как известно [3], комфорт изделий зависит от перепада температуры и влажности пододежного пространства и внешней среды. Поэтому дальнейшие исследования направлены на изучение кинетики процессов изменения температуры и влажности пододежного пространства. В основу исследования были положены стандартные методы [118, 141, 142, 143], и метод и методика, разработанные на кафедре материаловедения и товарной экспертизы РГУ им. А.Н. Косыгина под руководством профессора Кирсановой Е.А. и описанная в главе 2 [128, 144].

Исследования проводили на лучших образцах отечественных и зарубежных мембранных тканей, взятых в один слой. Результаты исследований (рисунок 3.6) позволили установить, что с внутренней стороны мембранной ткани арт. С 911М с ПТФЭ мембраной фирмы «Parel» (ОАО «Балтекс»), в первые 40 минут эксперимента, влажность постепенно нарастает и достигает максимума 81%. Затем резко, в течение 10-15 минут, снижается до 55-60%, и поддерживается на

данном уровне до конца опыта, за счет прохождения влаги через поры мембран. Отмечено, что с ростом влажности происходит постепенное повышение температуры пододежного пространства до 40°C. С уменьшением влажности – температура падает до комфортной 36-35°C.

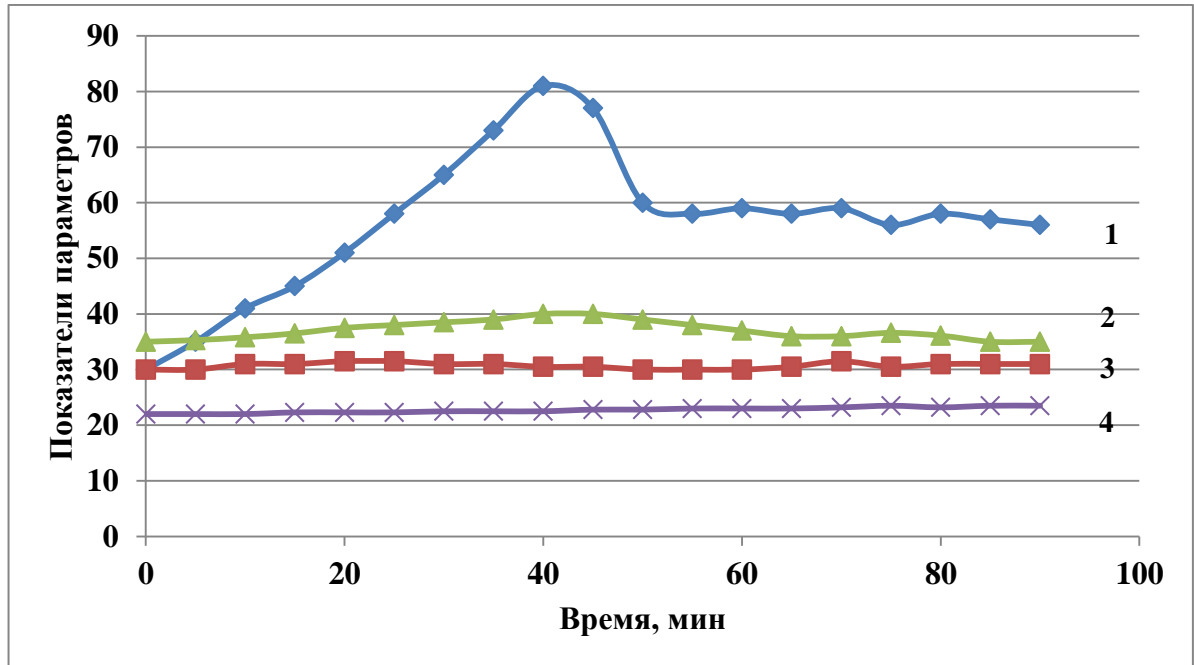


Рисунок 3.6 - Данные кинетики изменения влажности, % (1 и 3) и температуры, °C (2 и 4), пододежного пространства мембранной ткани арт. С911М: со стороны ткани: 1 и 2- изнаночной, 3 и 4 - лицевой

Такая закономерность обусловлена тем, что на первом этапе на изнаночной (пододежной) стороне пробы влага диффундирует к поверхности мембраны, создает движущую силу - градиент концентрации влаги (за счет разности влажности по обе стороны ткани), что подтверждается наличием следов капиллярной конденсированной влаги на изнаночной стороне ткани. При этом одновременно возникает осмотическое давление (градиент давления), которое направлено в сторону меньшего давления и влажности, и выталкивают пары влаги на лицевую поверхность ткани, то есть во внешнюю среду. Далее процесс сорбции-десорбции капиллярной влаги уравнивается, и влажность пододежного пространства снижается до вполне комфортной влажности 55-60%. Полученные данные согласуются с данными хорошей паропроницаемости мембранной ткани 5500 г/м²·24ч.

Результаты исследований мембранной ткани арт. 09С20-КВ, ПЛЛАМ (ОАО «Моготекс») (рисунок 3.7) позволили установить, что максимальная влажность пододежного пространства 85%, при которой начинается процесс десорбции влаги наружу, то есть на изнаночную сторону ткани.

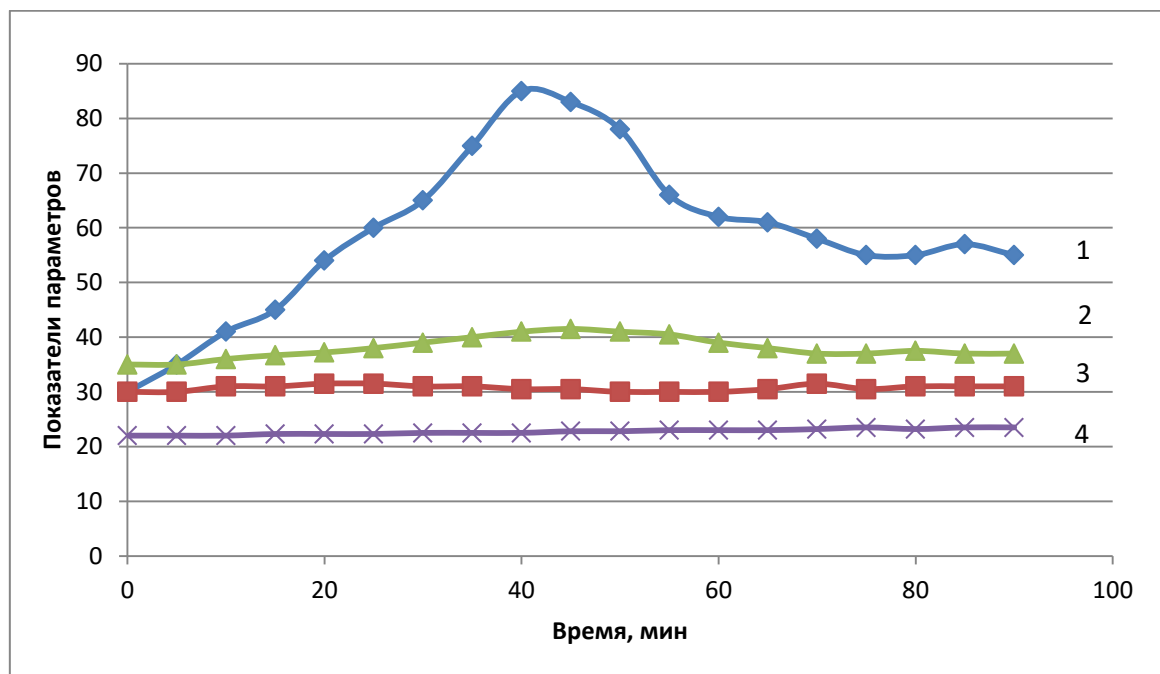


Рисунок 3.7 - Данные кинетики изменения влажности, % (1 и 3) и температуры, °C (2 и 4), пододежного пространства мембранной ткани арт. 09С20-КВ, ПЛЛАМ: со стороны ткани: 1 и 2– изнаночной, 3 и 4 –лицевой

Кроме того, равновесное состояние процесса сорбции и десорбции достигается на 70 минуте, что свидетельствует о низкой комфортности изделий в течение этого времени, и согласуется с данными низкой паропроницаемости мембранной ткани $446 \text{ г/м}^2 \cdot 24\text{ч}$.

С ростом влажности происходит постепенное повышение температуры пододежного пространства до 41°C , что свидетельствует о «жарком» - очень некомфортном состоянии пододежного пространства. С уменьшением влажности пододежного пространства температура падает, и через 70 минут достигает относительно комфортной температуры 37°C .

Отмечено наличие влаги на внутренней поверхности мембраны при влажности 85%, что является нежелательным явлением, поскольку может

способствовать намоканию и набуханию мембраны, а в этом случае, как было ранее сказано, избыточное давление не возникает. В результате, вода сквозь мокрую мембрану начинает проникать в пододежное пространство. Кроме того, это значительно ухудшает комфорт пододежного пространства.

Результаты исследований мембранной ткани арт. 80021, с отделкой МВОКл3 («Чайковский текстиль») показывают хорошие результаты поддержания комфорта пододежного пространства (рисунок 3.8).

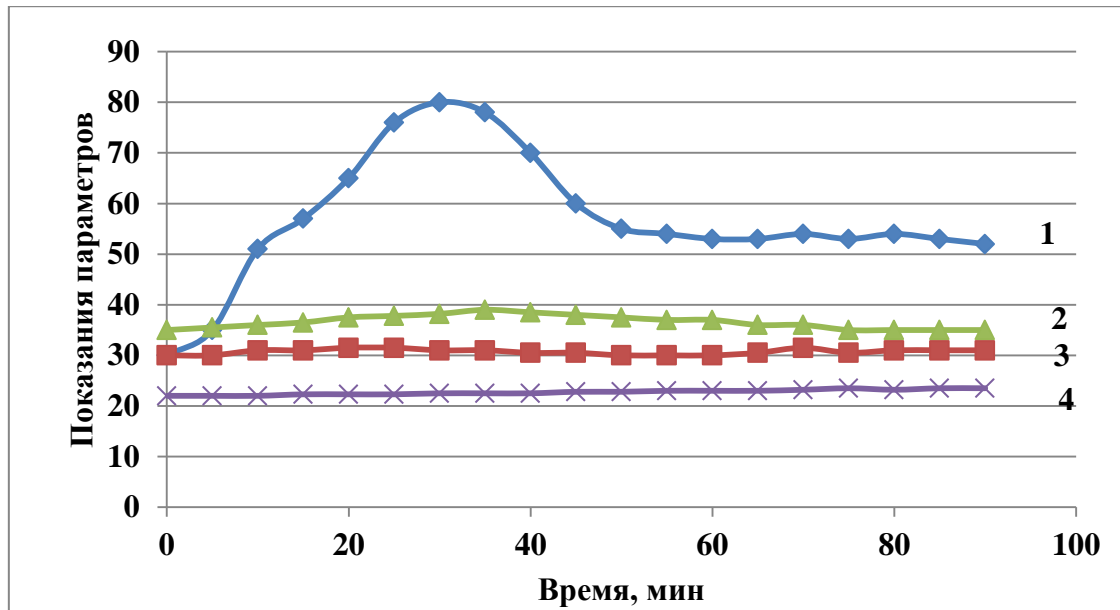


Рисунок 3.8 - Данные кинетики изменения влажности, % (1 и 3) и температуры, °C (2 и 4), пододежного пространства мембранной ткани арт. 80021: со стороны ткани: 1 и 2 - изнаночной, 3 и 4 - лицевой

Максимальная влажность пододежного пространства 80%, при которой начинается процесс десорбции влаги наружу, достигается быстро в течение 30 минут, а равновесное состояние процесса сорбции и десорбции достигается на 50 минуте, и далее влажность поддерживается на уровне 55-52%, что свидетельствует о высокой комфортности изделий из данной мембранной ткани, несмотря на не очень высокую паропроницаемость $900 \text{ г/м}^2 \cdot 24\text{ч}$.

Учитывая, что все импортные мембранные ткани характеризуются очень высокой паропроницаемостью от $9\ 000$ до $20\ 000 \text{ г/м}^2 \cdot 24\text{ч}$, при очень высокой водоупорности $5\ 000 - 28\ 000 \text{ мм.вод.ст.}$, то очень интересно, за счет чего достигаются такие высокие показатели. Результаты исследований мембранной

ткани арт. «Toray» TSD 1716DPF2L RIP (бикомпонентная пористая мембрана ПТФЭ) (Япония) (рисунок 3.9), показывают хорошие результаты поддержания комфорта пододежного пространства.

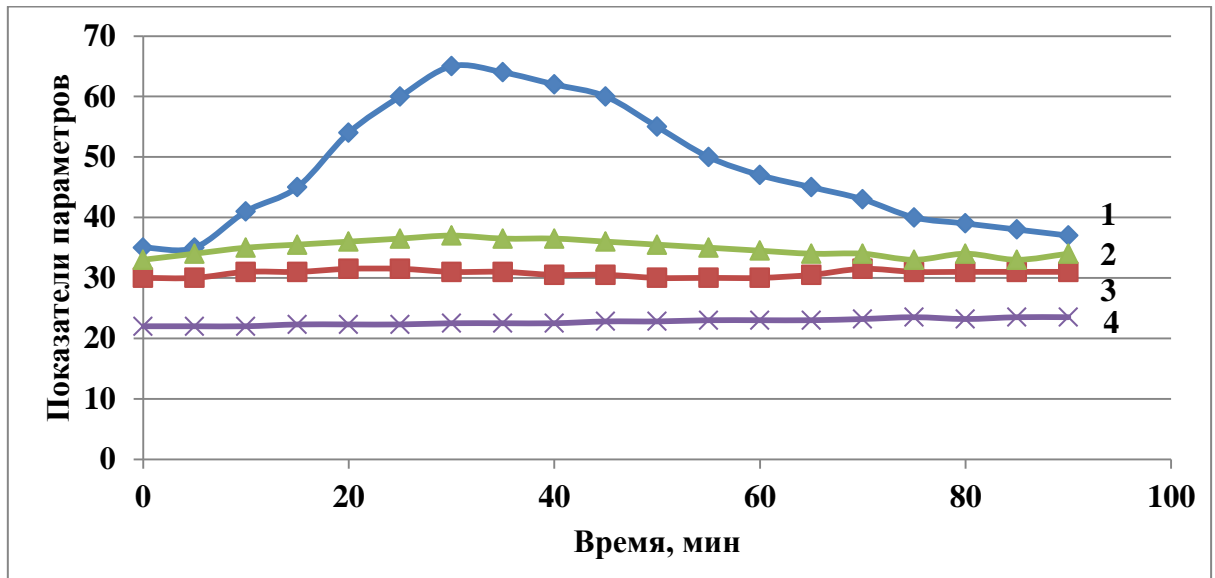


Рисунок 3.9 - Данные кинетики изменения влажности, % (1 и 3) и температуры, °C (2 и 4), пододежного пространства мембранной ткани арт. «Toray» TSD 1716DPF-2L RIP (Япония), со стороны ткани: 1 и 2 - изнаночной, 3 и 4 –лицевой

Максимальная влажность пододежного пространства, то есть изнаночной стороны мембранной ткани 65% (рисунок 3.9, кр.1), достигается в течение 30 минут. При этом влажность меньше на 15%, а время на 10-20 мин, по сравнению с отечественными мембранными тканями. После достижения максимальной влажности бикомпонентная пористая мембрана из ПТФЭ начинает «дышать» и влажность постепенно снижается до установленной прибором влажности. Такие высокие показатели паропроницаемости $20\ 000\ \text{г/м}^2\ 24\text{ч}$ мембранной ткани арт. «Toray» TSD 1716DPF2L RIP и комфорт пододежного пространства изделий, вероятно обусловлен составом мембраны. Вероятно, бикомпонентная пористая мембрана из ПТФЭ содержит гидрофильные группы, способные притягивать абсорбировать молекулы воды и за счет диффузии и десорбции выводить их наружу.

Отмечается достаточно стабильная температура с внутренней стороны мембранной ткани, которая возрастает максимум с 35 до 37°C, и быстро

снижается до первоначальной 34-35°C. Выявленная динамика кинетики изменения температуры и сорбции/десорбции влаги объясняет комфорт пододежного пространства при эксплуатации изделий из данных материалов. При этом конденсат влаги на внутренней поверхности мембранной ткани не обнаружен.

Ткань мембранная арт. ALM049 (мембрана поровая –100% ПУ, ВО DWR), (Германия) характеризуется высокой паропроницаемостью 10 000 г/м² ·24ч и высокой водоупорностью 10 000 мм.вод. ст. Результаты исследований мембранной ткани арт. ALM049 показали (рисунок 3.10, кр.1), что максимальная влажность пододежного пространства (изнаночной стороны мембраны) 62% достигается в течение 35 минут. Затем начинается постепенная десорбция влаги через мембрану и влажность пододежного пространства снижается, то есть мембрана начинает «дышать», и влажность постепенно снижается до установленной прибором влажности.

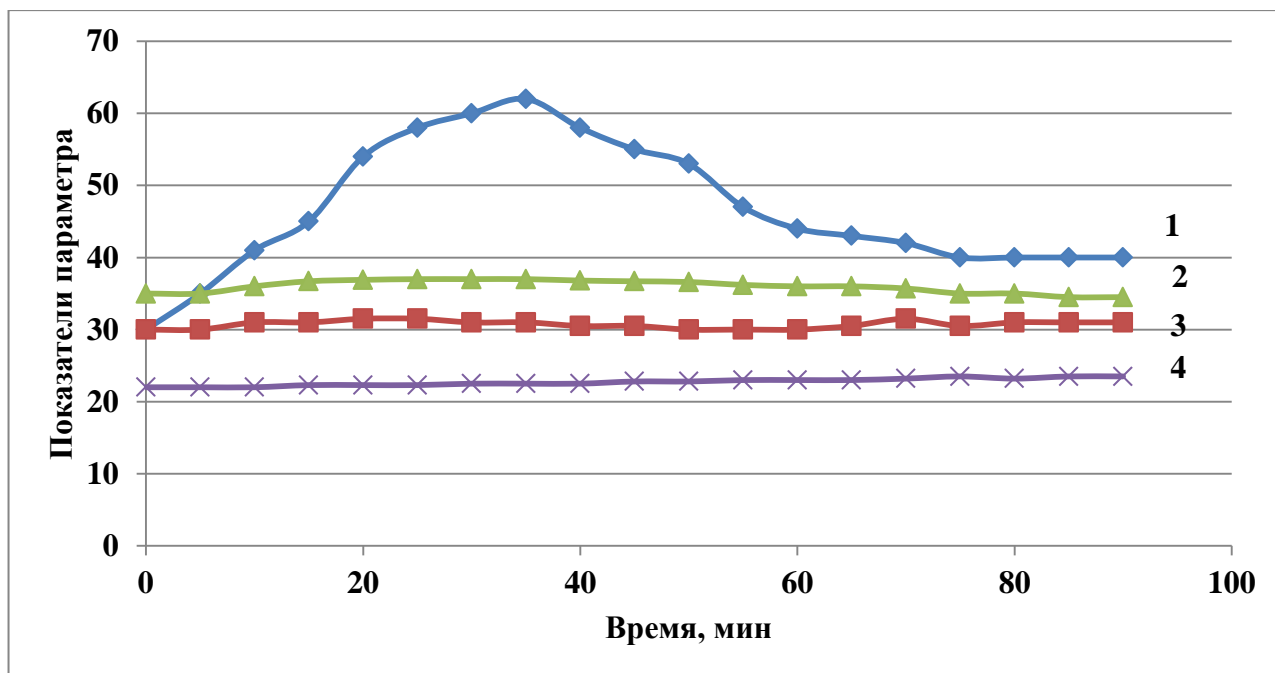


Рисунок 3.10 - Данные кинетики изменения влажности, % (1 и 3) и температуры, °C (2 и 4), пододежного пространства мембранной ткани арт. ALM049 (Германия), со стороны ткани: 1 и 2 - изнаночной, 3 и 4 - лицевой

Мембранная ткань арт. ALM049 имеет водоотталкивающую пропитку, что повышает водоупорность до 10 000 мм.вод. ст., однако паропроницаемость

осталась высокой $10\ 000\ \text{г/м}^2 \cdot 24\text{ч}$, что вероятно, обусловлено нанесением нанослоя водоотталкивающего покрытия, поры которого способны пропускать нанопары влаги, но не пропускают молекулы воды.

Ткань мембранная арт. «GORE-TEX» Products SPL70HS-2L, (мембрана GORE-TEX из ПТФЭ, ВО DWR) (США) характеризуется высокой паропроницаемостью $9\ 000\ \text{г/м}^2 \cdot 24\text{ч}$ и очень высокой водоупорностью $28\ 000\ \text{мм.вод. ст.}$ (рисунок 3.11). Максимальная влажность пододежного пространства достигается за 25 минут и не превышает 58%. Далее мембрана начинает дышать и влажность пододежного пространства уменьшается. Температура пододежного пространства не поднимается выше $36,5^\circ\text{C}$, затем постепенно падает до температуры эксперимента, а процесс десорбции влаги продолжается за счет разности температур по обе стороны образца мембранной ткани и созданного парциального давления в пододежном пространстве.

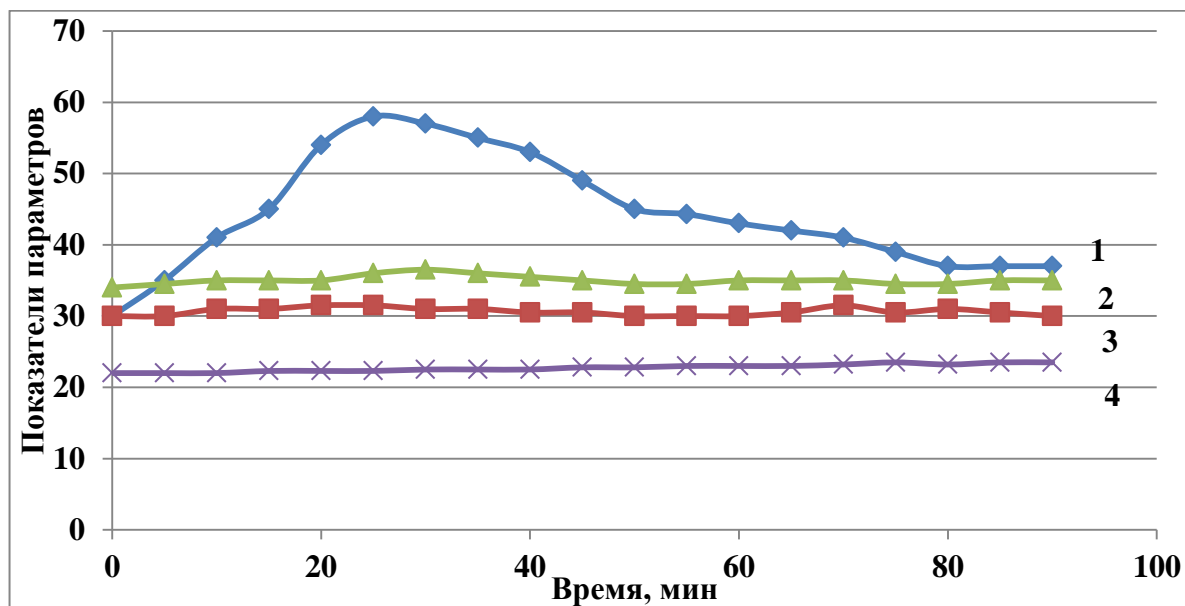


Рисунок 3.11 - Данные кинетики изменения влажности, % (1 и 3) и температуры, $^\circ\text{C}$ (2 и 4), пододежного пространства мембранной ткани арт. «GORE-TEX» SPL70HS 2L (США): со стороны ткани - 1 и 2 - изнаночной, 3 и 4 –лицевой

Стабильность температуры влажности пододежного пространства (кр.1 и 2 рисунок 3.11), что исключает перегрев пользователя и выделение кожей человека капиллярной влаги, то есть обеспечит комфорт пододежного пространства.

Таким образом, исследование кинетики изменения влажности и температуры пододежного пространства мембранных тканей позволило установить, что мембранные ткани отечественного производства начинают выводить влагу из пододежного пространства только при очень высокой влажности пододежного пространства, порядка 80%, при температуре 40-41°C, когда человек уже в течение 40-50 минут ощущает дискомфорт. Равновесное состояние процесса сорбции и десорбции достигается через 50-60 минут, и далее влажность пододежного пространства поддерживается на уровне 55-52%.

В этих же условиях импортные мембранные ткани выводят влагу при влажности пододежного пространства не более 60% и температуре 36-37°C, то есть при комфортных условиях пододежного пространства. Кроме того, процесс десорбции влаги из пододежного пространства в импортных мембранных тканях начинается через 25-30 минут. Все это и обеспечивает преимущество импортных мембранных тканей и делает их привлекательными и конкурентоспособными.

Установлено, что качество мембранных тканей зависит, как от структуры мембраны, прежде всего размера и количества нано-пор, так и от природы полимера пленки, наличия в нем гидрофильных групп, способных притягивать молекулы воды и продвигать их в сторону меньшей влажности под действием градиента концентрации, и выталкивать наружу, под действием осмотического давления паров влаги и температуры.

3.4 Прогнозирование паропроницаемости мембранных тканей

Используя теорию подобия и размерностей, установили функциональную зависимость одного из наиболее значимых показателей качества мембранных тканей – паропроницаемости, от основных факторов и параметров структуры, которые влияют на этот показатель [129, 130, 145, 146, 147].

В качестве основных факторов, которые влияют на паропроницаемость мембранных тканей принимаются:

$$V_h = f(\rho, d, \Delta P, M_s, V_H, V_P, V),$$

Где V_h – паропроницаемость, $\text{г}/(\text{м}^2 \cdot \text{сек})$, $\text{кг}^{-3} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$;

ρ – плотность мембранной ткани, $\text{кг}/\text{м}^3$;

d – толщина мембранной ткани; м^{-3} ;

ΔP – разница давлений окружающей среды и пододежного пространства, $\text{кг}/(\text{м} \cdot \text{сек}^2)$, $\text{кг}^1 \cdot \text{м}^{-1} \cdot \text{с}^{-2}$;

M_s – поверхностная плотность мембранной ткани, $\text{г}/\text{м}^2$, $\text{кг}^{-3} \cdot \text{м}^{-2}$;

V_H – водоупорность мембранной ткани, с;

V_P – воздухопроницаемость мембранной ткани, $\text{дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{сек})$, $\text{м}^{-5} \cdot \text{с}^{-1}$;

V – скорость движения воздуха, $\text{м}/\text{с}$, $\text{м}^1 \cdot \text{с}^{-1}$;

Представим приведенные факторы через основные характеристики ($[M]$ – масса, кг ; $[L]$ – длина, м ; $[T]$ – время, сек):

$$V_h = [M]^{-3} [L]^{-2} [T]^{-1}, \text{кг}^{-3} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1};$$

$$\rho = [M]^1 [L]^{-3} [T]^0, \text{кг} \cdot \text{м}^{-3};$$

$$d = [M]^0 [L]^{-3} [T]^0, \text{м}^{-3};$$

$$\Delta P = [M]^1 [L]^{-1} [T]^{-2}, \text{кг}^1 \cdot \text{м}^{-1} \cdot \text{с}^{-2};$$

$$M_s = [M]^{-3} [L]^{-2} [T]^0, \text{кг}^{-3} \cdot \text{м}^{-2};$$

$$V_P = [M]^0 [L]^{-5} [T]^{-1}, \text{м}^{-5} \cdot \text{с}^{-1};$$

$$V = [M]^0 [L]^1 [T]^{-1}, \text{м}^1 \cdot \text{с}^{-1};$$

$$V_H = [M]^0 [L]^0 [T]^1, \text{с}.$$

Аналитическое получение этой зависимости практически невозможно. Экспериментальное определение очень трудоемко. Однако если перейти от обычных физических величин к критериям подобия, т.е. к величинам, составленным из тех же физических величин, но в определенных сочетаниях в зависимости от природы процесса, то можно за счет сокращения количества переменных, легко найти эту зависимость [129, 130, 145, 146, 147].

Воспользовавшись второй теоремой подобия, т.е. система имеет решение, причем единственное, если составленный из коэффициентов уравнения определитель будет отличен от нуля, выбираем в качестве основных размерностей ΔP , V и V_H :

$$\alpha_{\Delta P} \beta_{\Delta P} \gamma_{\Delta P}$$

$$\Delta = \alpha_V \beta_V \gamma_V \neq 0$$

$$\alpha_{B_H} \beta_{B_H} \gamma_{B_H}$$

Подставим в определитель соответствующие значения $\alpha_i \beta_i \gamma_i$ величин ΔP , V и B_H , и находим:

Предлагаю взять в качестве основных размерностей ΔP , V : B_H ,

$$\begin{bmatrix} [M]^1 [L]^{-1} [T]^{-2} & 1 & -1 & -2 \\ [M]^0 [L]^1 [T]^{-1} & 0 & 1 & -1 \\ [M]^0 [L]^0 [T]^1 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & -1 & -2 \\ 0 & 1 & -1 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \neq 0$$

Следовательно, ΔP , V и B_H можно взять в качестве основных размерностей. Для нахождения критериев подобия используем метод нулевых размерностей, тогда получим уравнение вида [35, 36].

$$\frac{B_H}{[\Delta P]^{\alpha_{B_H}} [V]^{\beta_{B_H}} [B_H]^{\gamma_{B_H}}}$$

$$= f \left(\frac{\rho}{[\Delta P]^{\alpha_\rho} [V]^{\beta_\rho} [B_H]^{\gamma_\rho}} \cdot \frac{d}{[\Delta P]^{\alpha_d} [V]^{\beta_d} [B_H]^{\gamma_d}} \cdot \frac{\Delta P}{[\Delta P]^{\alpha_{\Delta P}} [V]^{\beta_{\Delta P}} [B_H]^{\gamma_{\Delta P}}} \right.$$

$$\cdot \frac{M_s}{[\Delta P]^{\alpha_{M_s}} [V]^{\beta_{M_s}} [B_H]^{\gamma_{M_s}}} \cdot \frac{B_H}{[\Delta P]^{\alpha_{B_H}} [V]^{\beta_{B_H}} [B_H]^{\gamma_{B_H}}}$$

$$\left. \cdot \frac{B_p}{[\Delta P]^{\alpha_{B_p}} [V]^{\beta_{B_p}} [B_H]^{\gamma_{B_p}}} \cdot \frac{V}{[\Delta P]^{\alpha_V} [V]^{\beta_V} [B_H]^{\gamma_V}} \right)$$

Рассматривая каждый комплекс уравнения и находя критерии подобия, которые подробно расписаны в (приложении Е), получили зависимость паропроницаемости от анализируемых факторов в виде формулы [148, 149]:

$$B_H = \rho \cdot d \cdot M_s \cdot B_p \cdot \Delta P^{-1} \cdot V^{10} \cdot B_H^8, \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{сек})$$

где B_H – паропроницаемость, $\text{г}/(\text{м}^2 \cdot \text{сек})$; ρ – плотность мембранной ткани, $\text{кг}/\text{м}^3$; d – толщина мембранной ткани, мм ; ΔP – разница давлений по обе стороны ткани, Па ; M_s – поверхностная плотность, $\text{г}/\text{м}^2$; B_H – водоупорность, с ; B_p – воздухопроницаемость, $\text{дм}^3/\text{м}^2 \cdot \text{с}$; V – скорость ветра, $\text{м}/\text{с}$.

Таким образом, в результате применения теории подобия и анализа размерностей получена функциональная зависимость паропроницаемости мембранной ткани от ее основных параметров, которая позволяет прогнозировать

свойства мембранных тканей на стадии их проектирования, а также прогнозировать изменение паропроницаемости мембранных тканей в процессе эксплуатации изделий и потери первоначальных свойств от износа.

3.5 Исследование влияния низких температур на структуру и свойства мембранных тканей

Учитывая, что климатические условия Российской Федерации весьма разнообразны, а в средней и южной полосе температура в холодное время года изменяется от 0 до (-20)°С и ниже, то важно исследовать влияние низких температур на показатели качества мембранных тканей, которые широко используются в производстве демисезонной и зимней одежды [150-156, 228-231].

Образцы мембранных тканей подвергали воздействию низких температур в климатической криокамере WT-360. Испытания проводили при температуре (-10) и (-20) °С. Время экспонирования 12 часов замораживания и 12 часов оттаивания при комнатной температуре. Влажность мембранной ткани составляла ~ 20%. Циклы замораживания-оттаивания повторяли в течение 10, 20 и 30 суток. Испытанию подвергали ткани с поровой и беспоровой мембранной. Характеристика структуры и свойств мембранных тканей представлена в главе 2.

Результаты исследований показали (рисунок 3.12), что после многократного замораживания-оттаивания при температуре экспонирования (-10) °С прочность тканей с поровой мембраной (рисунок 3.12, образцы 1, 2 и 4) снижается на ~6-11%. Беспоровые мембраны (рисунок 3.12, образцы 3 и 5) впитывают влагу всей поверхностью мембраны, поэтому при многократном замораживании-оттаивании влага в порах мембраны при переходе в твердое состояние увеличивается в объеме (на 9%) и расшатывает структуру полимера, приводя к снижению на 8-19% прочности мембраны и ткани в целом [150, 151].

Снижение температуры до (-20) °С приводит к уменьшению прочности тканей при разрыве в зависимости от структуры мембраны: на 15-17% - для поровых и на 20-27% - для беспоровых мембран (рисунок 3.13).

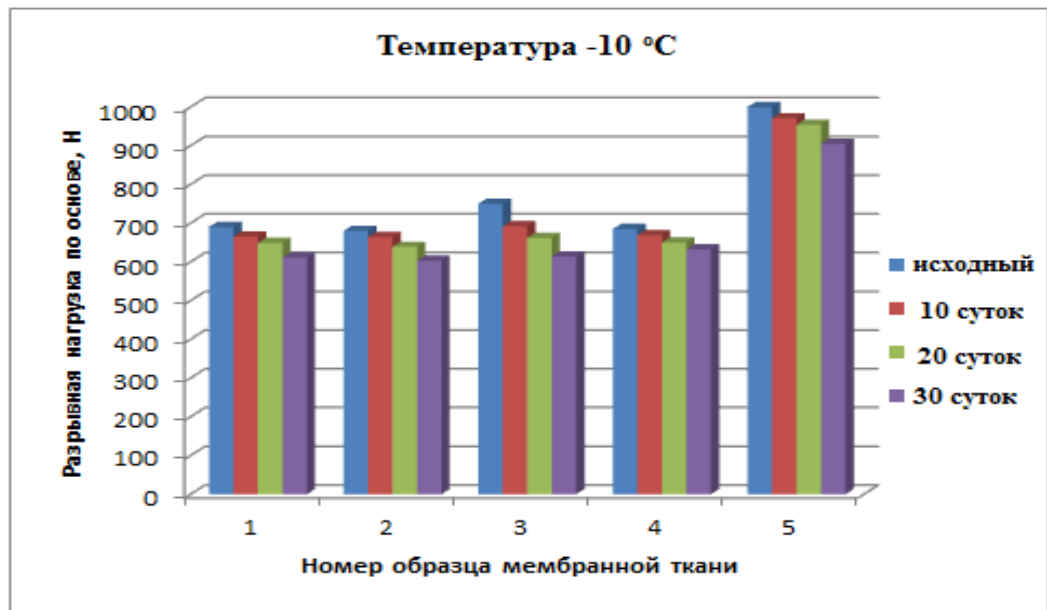


Рисунок 3.12 - Изменение разрывной нагрузки при многократном замораживании-оттаивании при температуре (-10) °C мембранных тканей: 1- арт. С911М; 2 - арт.09С20-КВ; 3 - арт. Dermizax-2L RIP; 4 - арт. ПЭ/М-003.19; 5 - арт. ЕАЕ-0765. (Аналогичная зависимость по утку. Коэффициент вариации не превышал 4,2%.)

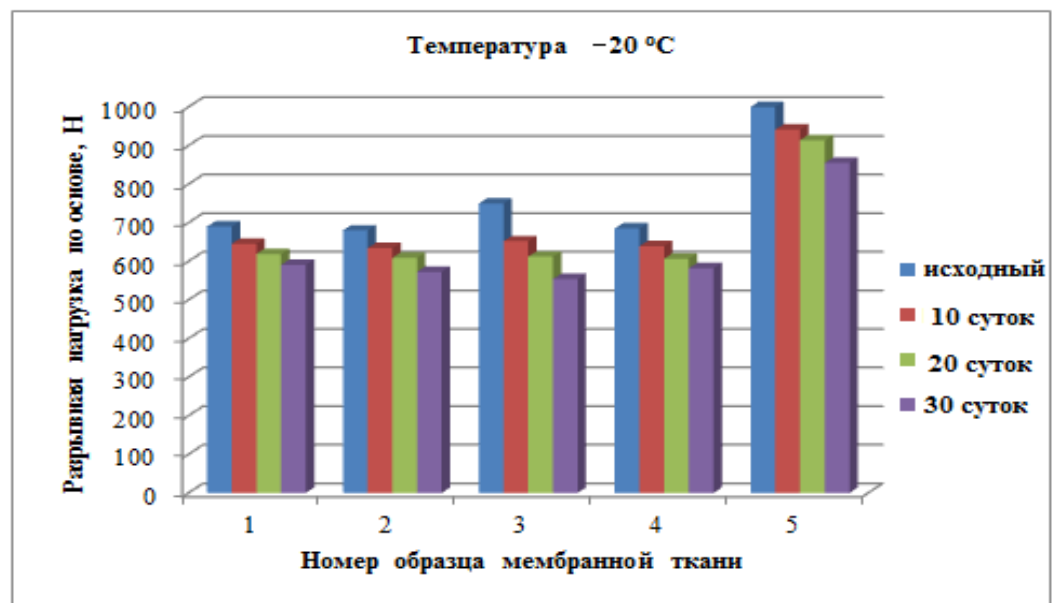


Рисунок 3.13 - Изменение разрывной нагрузки при многократном замораживании-оттаивании при температуре (-20) °C мембранных тканей: 1- арт. С 911М; 2 - арт. 09С20-КВ; 3 - арт. Dermizax-2L RIP; 4 - арт. ПЭ/М-003.19; 5 - арт. ЕАЕ-0765. (Аналогичная зависимость по утку. Коэффициент вариации не превышал 4,2%.)

Отмечено снижение жесткости тканей при изгибе после 40 циклов замораживания-оттаивания (криолиза) на 5-12% при температуре (-10) °C, и на 8-

15% при температуре (-20) °С, что обусловлено вымыванием аппретов из текстильной структуры и структурными деструктивными процессами в полимере мембран [150 - 154, 231].

Паропроницаемость мембранных тканей с поровой мембраной возрастает на 47-64 % при температуре -10°С (рисунок 3.14), и на 54-79% при температуре криолиза -20°С (рисунок 3.15). При этом установлено линейное возрастание паропроницаемости, которое описывается уравнением:

$$V_{\text{нк}} = 81,8 \cdot K + V_{\text{h0}}$$

где $V_{\text{нк}}$ – паропроницаемость после K циклов криолиза, $\text{г}/\text{м}^2 \cdot 24$; 81,8 – постоянный коэффициент; K - количество циклов криолиза; V_{h0} – паропроницаемость ткани до криолиза, $\text{г}/\text{м}^2 \cdot 24$.

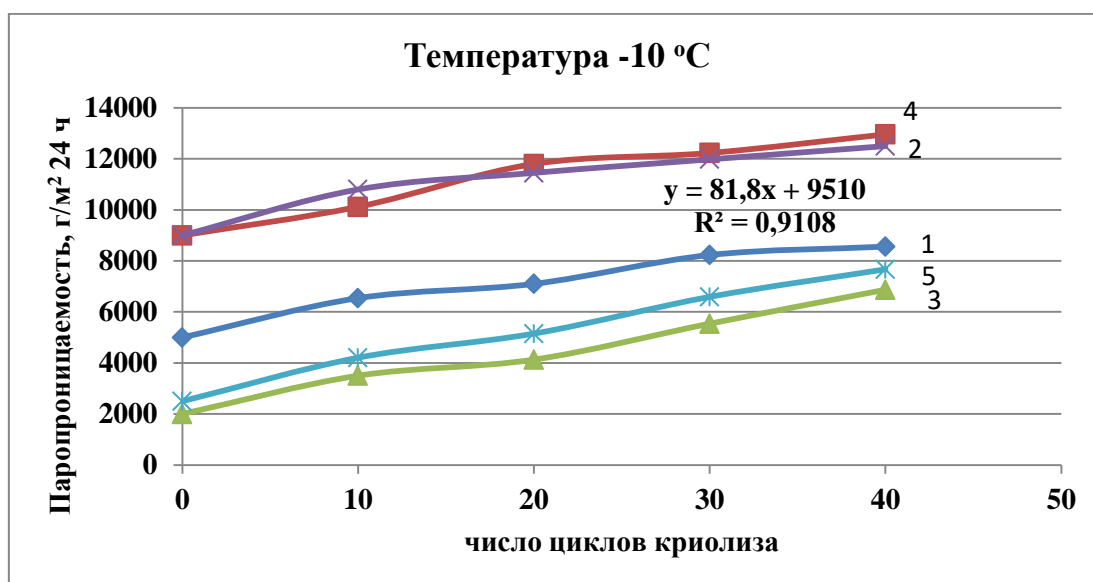


Рисунок 3.14 - Изменение паропроницаемости при многократном замораживании-оттаивании при температуре (-10) °С мембранных тканей: 1- арт. С 911М; 2 - арт.09С20-КВ; 3 - арт. Dermizax-2L RIP; 4 - арт. ПЭ/М-003.19; 5 - арт. ЕАЕ-0765. (Аналогичная зависимость по утку. Коэффициент вариации не превышал 3,2%.)

Значительное увеличение паропроницаемости, вероятно, обусловлено замораживанием влаги и увеличением ее объема на 9% в капиллярах пор мембраны, что постепенно при многократном замораживании-оттаивании приводит к увеличению размера пор.

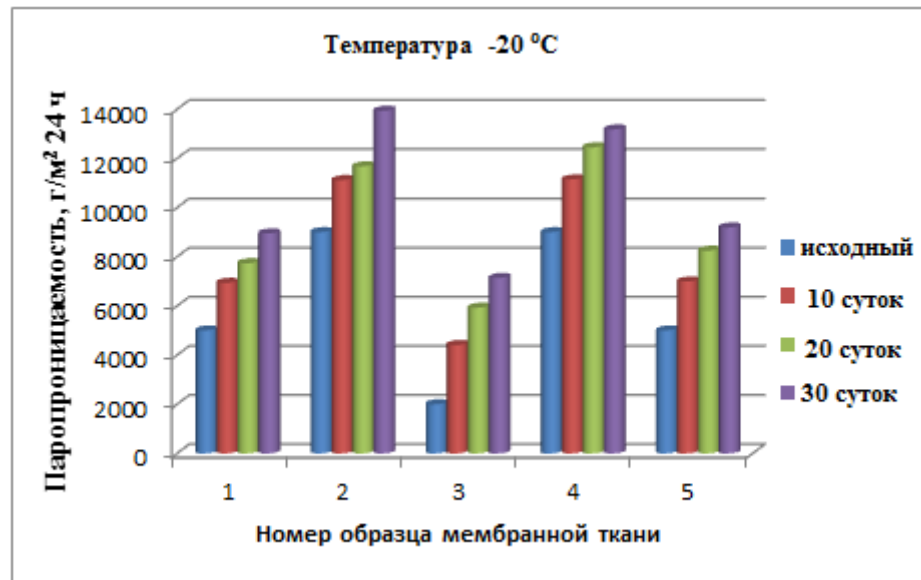


Рисунок 3.15 - Изменение паропроницаемости при многократном замораживании-оттаивании при температуре (-20) °С мембранных тканей: 1- арт. С 911М; 2 - арт.09С20-КВ; 3 - арт. Dermizax-2L RIP; 4 - арт. ПЭ/М-003.19; 5 - арт. ЕАЕ-0765. (Аналогичная зависимость по утку. Коэффициент вариации не превышал 3,2%.)

Для тканей с беспоровой мембраной паропроницаемость возрастает ~ в 2-3 раза, поскольку влага сорбируется всей поверхностью мембраны, а при замораживании вода увеличивается в объеме на 9%, то после оттаивания в структуре беспоровой мембраны образуются микротрещины и поры, придавая мембране высокую паропроницаемость.

Водоупорность снижается на 20-41% для тканей с поровой мембраной и на 28-51% для тканей с беспоровой мембраной при многократном замораживании оттаивании при (-10)°С (рисунок 3.16).

Зависимость снижения водоупорности мембранных тканей от количества циклов криолиза при температуре (-10) °С, имеет линейных характер и описывается уравнением вида:

$$V_n = -17,46 K + V_{n0}$$

где V_n – водоупорность после K циклов криолиза, мм.вод.ст; -17,46 – постоянный коэффициент; K - количество циклов криолиза; V_{n0} - водоупорность ткани до криолиза, мм.вод. ст.

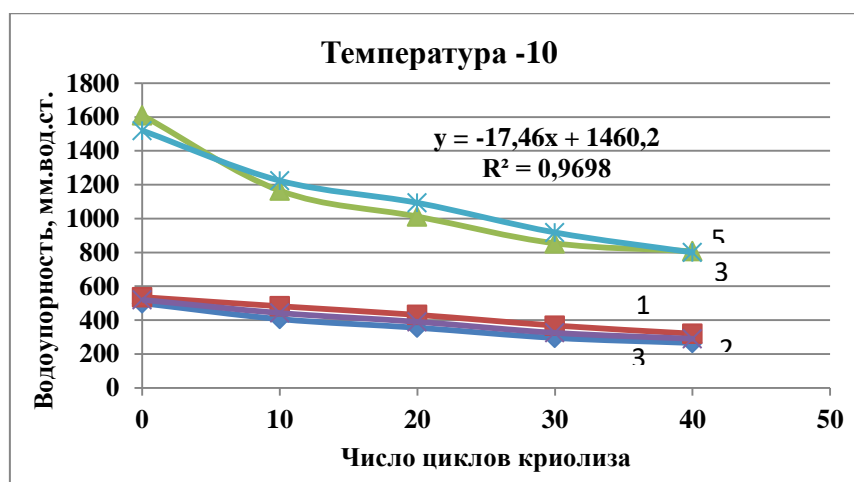


Рисунок 3.16 - Изменение водоупорности при многократном замораживании-оттаивании при температуре (-10) °С мембранных тканей: 1- арт. С 911М; 2 - арт. 09С20-КВ; 3 - арт. Dermizax-2L RIP; 4 - арт. ПЭ/М-003.19; 5 - арт. ЕАЕ-0765. (Аналогичная зависимость по утку. Коэффициент вариации не превышал 1,5%.)

При снижении температуры криолиза до (-20)°С, водоупорность снижается для поровых мембран на 36-41%, и беспоровых на 53% - образец 3 и 30% - образец 5 (рисунок 3.17) [155- 157, 231].

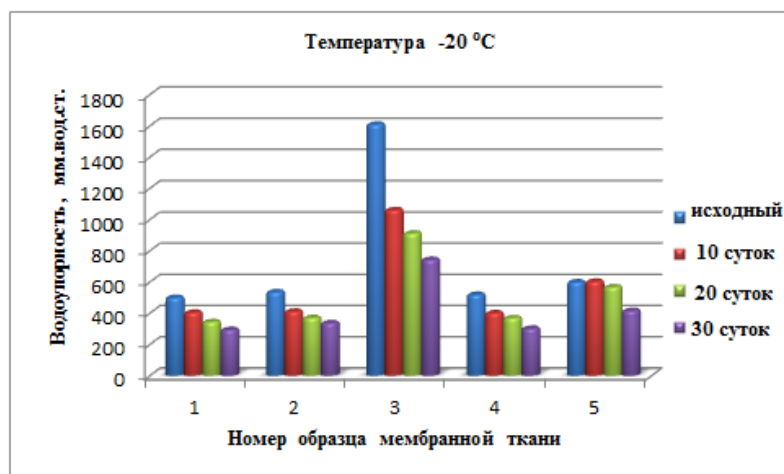


Рисунок 3.17 - Изменение водоупорности при многократном замораживании-оттаивании при температуре (-20) °С мембранных тканей: 1- арт. С 911М; 2 - арт. 09С20-КВ; 3 - арт. Dermizax-2L RIP; 4 - арт. ПЭ/М-003.19; 5 - арт. ЕАЕ-0765. (Аналогичная зависимость по утку. Коэффициент вариации не превышал 1,5%.)

Таким образом, установлено изменение физико-механических свойств мембранных тканей, подвергнутых многократному замораживанию-оттаиванию,

происходит по линейному закону и зависит от структуры мембраны. Поровые мембраны более устойчивы к многократному криолизу, чем беспоровые.

Многократный криолиз тканей с поровыми мембранами приводит к снижению на ~6-17% разрывной нагрузки, жесткости при изгибе на 5-15%, водоупорности на 20-41% и возрастанию паропроницаемости на 47-64%.

Многократный криолиз тканей с беспоровыми мембранами приводит к снижению на ~8-27% разрывной нагрузки, жесткости при изгибе на 8-15%, водоупорности на 28-51% и возрастанию паропроницаемости ~2-3 раза.

Установлено, что свойства мембранных тканей определяются их структурой. Для придания надежной водонепроницаемости специальным изделиям мембранная ткань должна иметь дополнительную водоотталкивающую пропитку и мембранное покрытие внутренней (изнаночной) стороны ткани.

3.6 Исследование влияния технологических факторов производства одежды на структуру и свойства мембранных тканей

Мембранные ткани являются сравнительно новыми инновационными материалами, поэтому в литературе отсутствуют данные о влиянии процесса стачивания деталей одежды на структуру и свойства мембраны, а также качество и герметичность швов. Как известно, в процессе производства швейных изделий, в том числе из мембранных тканей, материалы при стачивании подвергаются проколу иглой, и термическому воздействию нагретой иглы [158]. Поэтому дальнейшие исследования были направлены на изучение этого вопроса.

Для эксперимента были изготовлены образцы на стачивающей швейной машинке PFAFF. Строчку прокладывали на исследуемых образцах мембранных тканей иглой №70, нитками MAIDERA №120 из 100% полиэстера (лавсана), длина стежка выбрана 3,5 мм, как оптимальная для тканей такой поверхностной плотности и толщины. Строчку прокладывали с лицевой стороны, то есть со стороны ткани. Часть строчки оставляли без изменения, другую часть аккуратно

надрезали и удаляли нити индивидуально в каждом стежке, что бы избежать ошибки эксперимента. Полученные образцы исследовали с помощью оптического микроскопа ММИ-2 (увеличение 1250) [159, 228].



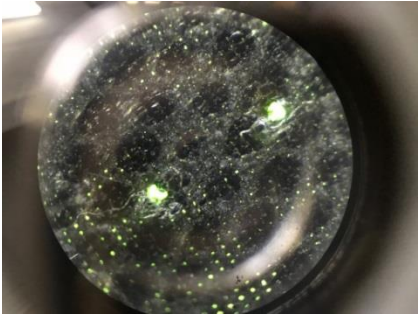
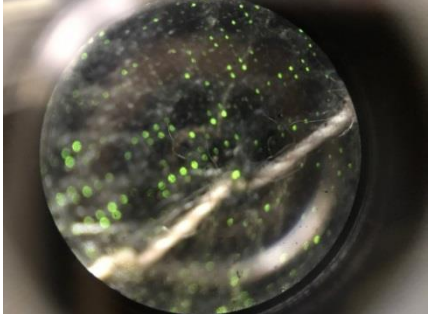
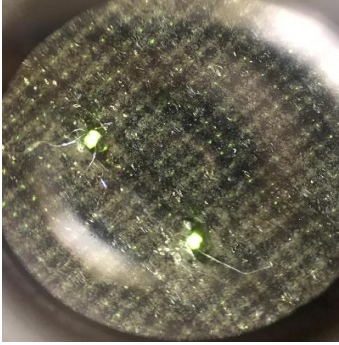
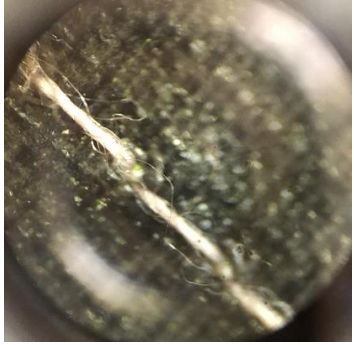
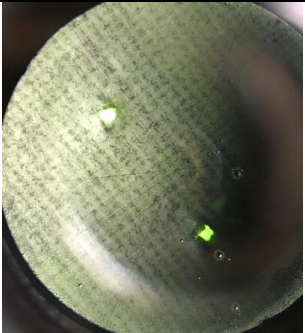
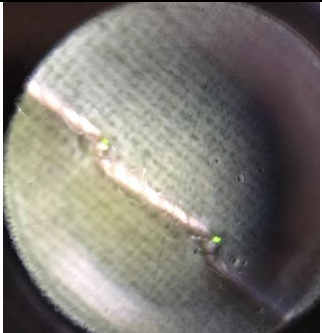
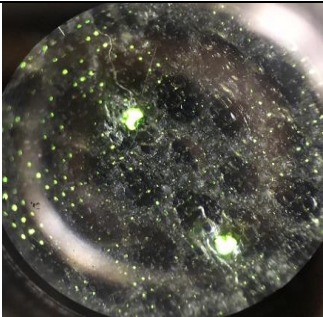
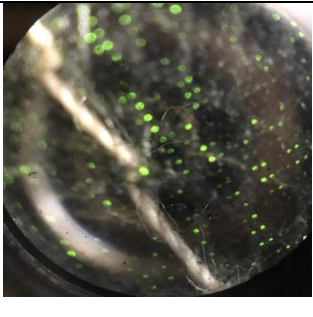
Результаты исследований показали (таблица 3.9), что на образце мембранной ткани арт. С 911М, мембрана ПТФЕ «Parel», шов ложится ровно, без стягивания мембранной ткани, что позволит производить изделия высокого качества. Однако места прокола имеют рваный вид неправильной формы со значительными размерами, примерно 1-1,2 мм. Следовательно, проникание влаги через такие отверстия вполне возможно. Поэтому швы из такой ткани должны иметь дополнительную герметизацию, например лентой для герметизации швов Mesh Fabric+TPU Membrane+PU Glue или TPU (состав TPU+PU, толщина 0,08 мм, ширина 20 мм, Китай), или пропитку швов силиконовым спреем или пастой на специальном оборудовании [159].

У мембранной ткани арт. 09С20-КВ, с мембраной ПЛЛАМ, при стачивании шов сборит и стягивает ткань, ухудшая эстетический вид и качество изделия. Вероятно это обусловлено структурой мембранной ткани, очень малой толщиной мембраны 0,028 мм и массой 38 г/м². Отверстия от прокола иглой, относительно правильной круглой формы с диаметром 0,9-1,0 мм, следовательно, перед стачиванием, на мембрану необходимо также наносить ленту для герметизации швов, что одновременно устраним деформацию (сборку) шва и улучшит внешний вид изделия [159].

Мембранная ткань арт. 80021, с мембраной ПУ и отделкой МВОКЛЗ, образует ровный качественный шов, без стягивания мембранной ткани. Места прокола имеют округлую правильную форму размером 0,5-0,6 мм. Швейная нитка плотно закрывает отверстие прокола, что обеспечит защиту от протекания воды до тех пор пока нитки не намокнут [159].

Мембранная ткань арт. TSD 3008 DP3L RIP с пористой ПТФЭ мембраной (США) образует ровный качественный шов, без стягивания мембранной ткани. Места прокола имеют неправильную форму размером 0,7-0,8 мм. Швейная нитка плотно закрывает отверстие прокола, что обеспечит защиту от протекания воды.

Таблица 3.9 Данные оптической микроскопии структуры ниточного соединения мембранных тканей

Обозначение мембранных тканей	Оптическая микроскопия структуры ниточного соединения мембранных тканей. Снимки со стороны мембраны	
	Образцы после удаления ниток	Образцы с ниточным швом
Мембранная ткань арт. С911М, ПТФЭ «Parel», (ОАО «Балтекс»)		
Мембранная ткань арт. 09С20-КВ, (отделка ПЛИАМ), (ОАО «Моготекс»)		
Мембранная ткань арт. 80021, ПУ+МВОКлЗ, («Чайковский текстиль»)		
Мембранная ткань арт. TSD 3008 DP3L RIP, мембрана поровая ПТФЭ - (США)		
Ткань мембранная «Тогеу» арт. TSD 7542DPF-1L Lamination PU мембрана (Япония)		

Обозначение мембранных тканей	Образцы после удаления ниток	Образцы с ниточным швом
Ткань мембранная – арт. ALM049, PU мембрана, (Германия)		

У мембранной ткани «Toreu» (Япония) арт. TSD 7542DPF-1L однослойной ламинированной PU мембраной, также как и у отечественной однослойной мембранной ткани арт. 09С20-КВ, при стачивании, шов сборит и стягивает ткань, ухудшая внешний вид и качество изделия. Очевидно это обусловлено малой толщиной и поверхностной плотностью мембранной ткани - 95 г/м^2 . Отверстия от прокола иглой, относительно правильной круглой формы с диаметром 0,8-0,9 мм, следовательно, на мембрану необходимо также наносить ленту для герметизации швов, что одновременно устранил деформацию шва.

Мембранная ткань арт. ALM049, мембрана поровая PU (Германия), образует ровный качественный шов, без стягивания мембранной ткани. Места прокола имеют округлую правильную форму размером 0,5-0,6 мм. Швейная нитка плотно закрывает отверстие прокола, что обеспечит защиту от протекания воды, пока не намокнут нитки.

Исследование мембранных тканей на водоупорность методом Кошеля показало, что все ткани в течение 24 часов и даже 48 часов не намокли, водяных темных пятен не наблюдалось, образование капель воды также не наблюдалось. У ткани арт. С 911М после 48 часов выдерживания с водой в кошеле наблюдалась незначительная деформация лицевой стороны ткани, при этом мембрана оставалась без изменения и без каких бы то ни было признаков намокания [159].

Герметизацию швов осуществляли нанесением на шов специальной герметизирующей термоклеевой ленты PU, однослойная полиуретановая лента

толщиной 100 микрон и шириной 20 мм, которую разогревали горячим паровым утюгом и затем приклеивали на шов без пара. Полученные образцы испытывали на водоупорность по методу Кошеля [160], при этом шов располагали по центру кошеля. Пробу располагали лицевой стороной вверх и аккуратно вливали воду, засекая при этом время. Высота столба воды в кошеле 100 ± 2 мм. Испытание продолжали 24 часа, снимали наблюдения каждые 30 минут в течение рабочего дня, затем оставляли и последнее наблюдение за образцами осуществляли через 24 часа от начала испытания. За результат принимали время, когда наблюдались первые признаки намокания пробы или протекание воды. Результаты исследований представлены в (таблице 3.10) [158].

Таблица 3.10 Показатели водоупорности швов мембранных тканях

Обозначение мембранных тканей и мембраны	Поверхностная плотность, г/м ² , мембранной ткани	Водоупорность, (мин., часы)	
		Без герметизации шва	С герметизацией шва
Арт. С 911М, ПТФЭ	150	0 час 30 мин	24 часа- без изменений
Арт. 09С20-КВ, ПЛЛАМ	148	0 час 30 мин	24 часа- без изменений
Арт. 80021, ПУ мембрана	190	1 час 30 мин	24 часа- без изменений
Арт. TSD 3008 DP3L RIP, ПТФЭ	140	1 час 00 мин	24 часа- без изменений
Арт. TSD 7542DPF-1L, PU мембрана	95	0 час 30 мин	24 часа- без изменений
Арт. ALM049, поровая PU мембрана	133	0 час 30 мин	24 часа- без изменений

Результаты исследования герметизации швов показали (таблица 3.10), что без герметизации в течение первых 30 минут в образцах мембранных тканей арт. арт. С 911М, арт. 09С20-КВ, арт. TSD 7542DPF-1L и арт. ALM049 в местах прокола иглой вокруг ниточного шва появилась влага. Как и ожидалось, образцы мембранных тканей арт. 80021 с полиуретановой мембранной выдержал 1 час 30 мин, а арт. TSD 3008 DP3L RIP с тефлоновой мембраной в течение 1 часа выдерживает давление воды. Затем также швейные нитки намокли и появились темные разводы на ткани в местах прокола иглой. Образцы, на которых швы были

герметизированы лентой PU, выдержали испытание на водоупорность методом кошеля. В течение 24 часов испытания мокрых пятен, капель влаги или воды на обратной стороне пробы не наблюдалось.

Испытание швов по ГОСТ 4103-82 [161] показало, что прочность швов зависит не только от прочности ниток, но и от направления приложения нагрузки и длины стежка. Наибольшей прочностью характеризуются швы с длиной стежков 3,5-4,0 мм (таблица 3.11). При одинаковой длине стежка, шов выдерживает большие нагрузки, если усилие прикладывается вдоль линии шва. Чем больше длина стежка, тем удлинение шва выше. Удлинение шва при приложении нагрузки вдоль шва составляет в среднем 43%, что на 20-40% выше, чем при приложении нагрузки перпендикулярно шву.

Таблица 3.11 Данные прочности шва стачивания мембранных тканей

Обозначение мембранных тканей	Разрывная нагрузка шва, даН, при длине стежка, мм					Относительное удлинение, %, вдоль шва	Относительное удлинение, %, поперек шва
	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0		
арт. С 911М, ПТФЭ	62,3	64,9	64,4	63,7	63,2	54,6	32,25
арт. 09С20-КВ, ПЛЛАМ	41,7	44,7	44,1	43,2	43,0	40,6	30,30
арт. 80021, ПУ мембрана	65,0	67,3	66,9	65,7	66,2	54,00	32,50
арт. TSD3008 DP3L RIP, ПТФЭ	48,2	50,9	50,1	49,2	49,1	41,70	29,75
арт. TSD 7542DPF-1L, PU	40,7	43,7	42,1	41,2	43,0	42,9	33,30
арт. ALM049, поровая PU	40,2	44,0	43,3	41,4	43,4	41,6	31,50

Таким образом, установлено, что швы изделий из мембранных тканей обязательно нужно герметизировать. Герметизация позволяет обеспечить абсолютную водонепроницаемость ниточных швов, увеличить прочность и долговечность, и получить в итоге функциональное, комфортное в эксплуатации изделие.

Установлено, что прочность швов зависит не только от прочности ниток, но и от направления приложения нагрузки и длины стежка. Наибольшей прочностью характеризуются швы с длиной стежков 3,5-4,0 мм.

Выводы по главе 3

1. Установлены значимые показатели качества мембранных тканей, которые рекомендуется учитывать в требованиях к мембранным тканям, при проектировании нового ассортимента мембранных тканей и конфекционировании материалов в пакет одежды.

2. Установлено, что исследуемые мембранные ткани отечественных производителей изготовлены с нанесением импортной мембраны из политетрафторэтилена или полиуретана. Все образцы мембранных тканей отвечают нормативным требованиям ГОСТ 28486-90, и характеризуются высокой прочностью при растяжении 60/47 кгс, устойчивостью к истиранию по плоскости 36750-71800 циклов и прочностью соединения слоев 7,2/8,5Н/см, несминаемость более 80/79% и невысокой жесткостью при изгибе $<7200 \text{ мкН}\cdot\text{см}^2$.

3. Все образцы зарубежных мембранных тканей характеризуются высокой паропроницаемостью и водоупорностью, за счет нанопористой структуры мембран и нанослоя защитного водоотталкивающего покрытия DWR, что и обеспечивает их высокую конкурентоспособность на мировом рынке.

4. Получены справочные данные физико-механических свойств исследуемых отечественных и импортных мембранных тканей. Отмечено влияние водоотталкивающей отделки лицевой поверхности на паропроницаемость мембранных тканей. С повышением водоупорности тканей, паропроницаемость снижается в прямо пропорциональной зависимости.

5. Изучение кинетики изменения влажности и температуры по обе стороны мембранных тканей позволило установить, что отечественные мембранные ткани начинают выводить влагу («дышать») при 80% влажности и температуре 40-41°C пододежного пространства. Равновесное состояние процесса сорбции и десорбции достигается через 50-60 минут, и влажность снижается до комфортных 52-55%. Импортные мембранные ткани выводят влагу при влажности пододежного пространства не более 60% и температуре 36-37°C. Процесс десорбции влаги начинается через 25-30 минут. Все это и обеспечивает преимущество импортных мембранных тканей и делает их привлекательными и

конкурентоспособными.

6. Установлено, что качество мембранных тканей зависит, как от структуры мембраны, прежде всего размера и количества нано-пор, так и от природы полимера пленки, наличия в нем гидрофильных групп, способных притягивать молекулы воды и продвигать их в сторону меньшей влажности под действием градиента концентрации, и выталкивать наружу, под действием осмотического давления паров влаги и температуры.

7. Получена математическая зависимость паропроницаемости от параметров структуры и свойств мембранных тканей, вида:

$$V_h = \rho \cdot d \cdot M_s \cdot V_p \cdot \Delta P^{-1} \cdot V^{10} \cdot V_H^8, \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{сек}),$$

которая позволяет прогнозировать свойства мембранных тканей на стадии их проектирования, а также прогнозировать изменение паропроницаемости мембранных тканей в процессе эксплуатации изделий и потери первоначальных свойств от износа.

8. Установлена линейная зависимость изменения паропроницаемости:

$V_{hk} = 81,8 \cdot K + V_{h0}$, и водоупорности $V_H = -17,46 K + V_{H0}$, от количества (K) циклов криолиза.

9. Установлено влияние структуры мембраны на устойчивость мембранных тканей к многократному криолизу. Многократный криолиз тканей с поровыми мембранами приводит к снижению на ~6-17% разрывной нагрузки, жесткости при изгибе на 5-15%, водоупорности на 20-41% и возрастанию паропроницаемости на 47-64%. Ткани с беспоровыми мембранами теряют прочность при разрыве на ~8-27%, жесткость при изгибе на 8-15%, водоупорность на 28-51%, а паропроницаемость возрастает в ~2-3 раза.

10. Доказано повреждение мембраны в процессе стачивания деталей одежды, которое через 30 минут приводит к намоканию мембранной ткани. Герметизация швов является обязательной и обеспечивает надежную защиту потребителя. Определена рациональная длина стежка 3,5-4 мм, при которой образуется надежный прочный шов, повышающий качество изделий.

ГЛАВА 4 РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ТЕРМООБОГРЕВАЕМЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ПАКЕТОВ ТЕПЛОЗАЩИТНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Одно из условий комфортного самочувствия человека, сохранения его высокой работоспособности и здоровья в условиях низких температур, является обеспечение термостабильного состояния организма. Однако биологические возможности системы терморегуляции организма человека ограничены, особенно в случае пребывания в экстремальных температурных условиях, как высоких, так и низких температур, особенно в малоподвижном состоянии. Для работы в таких условиях необходимо использовать специальную одежду, способную защитить человека от гипотермии [3].

Анализ литературных данных [69, 71, 77, 162, 163, 164, 165, 166, 167, 168] позволил известные способы терморегуляции текстильных материалов и изделий условно разделить на три направления:

разработка токопроводящих систем [69, 71, 162-164];

разработка системы материалов, снабженных тепло-направляющими элементами, которые выполнены из материалов разной теплопроводности и способны как передавать тепло от тела пользователя, так и отражать тепло к нему, обеспечивая температурный комфорт в пододежном пространстве [77, 165];

создание терморегулируемых материалов с использованием в качестве наполнителя фазопереходных веществ, способных при переходе из одного фазового состояния в другое поглощать и выделять тепло [71, 166-170].

Разработка токопроводящих эластичных композиционных текстильных материалов является наиболее интересным и перспективным направлением, которое развивается двумя путями:

во-первых, за счет напыления электропроводящего металла на нить, текстильную или пленочную основу, а также внедрение электропроводных металлических нитей в структуру текстильных материалов;

во-вторых, за счет использования электропроводящих углеродсодержащих элементов в виде углеродной нити, или текстильной основы, содержащей углерод напыленный на основу текстильную или пленочную любым известным способом.

Например, в способе [162] получения электропроводящего текстильного материала, на тонкую полимерную пленку после вакуумирования методом магнетронного распыления наносят металлическое покрытие, после чего пленка с металлическим покрытием склеивается с поверхностью текстильной ткани металлическим слоем вовнутрь или наружу. Полимерная пленка может быть полиуретановая (ПУ), полиэфирная (ПЭФ), полиамидная (ПА), полиэтиленовая (ПЭ), полипропиленовая (ПП), полиимидная (ПИ), политетрафторэтиленовая (ПТФЭ), поливинилхлоридная (ПВХ), поливинилспиртовая (ПВС). Для нанесения металлического покрытия могут быть использованы такие металлы, как медь, алюминий, титан, цинк, серебро, золото, вольфрам, а также такие сплавы, как бронза, латунь, нержавеющая сталь и иные диамагнитные металлы и сплавы. Недостаток способа дорогостоящая технология магнетронного распыления металла в вакууме, высокая материалоемкость и энергоемкость. Кроме того, электропроводящее покрытие при многократном нагреве приведет к деформациям и преждевременному старению полимерной пленки, а эксплуатация швейных изделий, при которой материалы испытывают многократные деформации изгиба, растяжения, сжатия и трения, приведет к повреждению тонкого металлизированного покрытия, ухудшению электропроводящей способности и преждевременной потери функционального назначения изделия – обогрева и защиты от холода.

Поэтому целью данных исследований является разработка терморегулирующего электрообогреваемого композиционного текстильного материала (ЭОКТМ), обеспечивающего надежное закрепление электропроводящего слоя в структуре электроизоляционного текстильного материала, снижение материалоемкости и трудоемкости изготовления, расширение ассортимента терморегулирующих текстильных материалов (ТТМ) и повышение удобства их применения в производстве швейных изделий [74].

4.1 Разработка электрообогреваемого композиционного текстильного материала в концепции создания терморегулируемой одежды

Для достижения поставленной цели в качестве нагревательного элемента терморегулируемого слоя выбрана электропроводная углеродная нить (ТУ 1916-146-05763346-96, производитель предприятие «М-Карбо», г. Светлогорск, Беларусь). Углеродная нить марки УКН-М-12К характеризуется линейной плотностью 205, 400 и 800 текс, относительной разрывной нагрузкой 22-24 сН/текс, сопротивлением 60-240 Ом/м и удельным электрическим сопротивлением $(0,7-12) \cdot 10^{-5}$ Ом·м в зависимости от толщины нити [172].

Для формирования структуры терморегулируемого слоя в качестве основного электроизоляционного текстильного слоя использовали хлопчатобумажную ткань арт. 210 поверхностной плотностью 110 г/м^2 , как наиболее легкую и устойчивую к многократным изменениям температуры. На ткань по разметке укладывали углеродную нить (УН), оставляя концы свободными, для подключения к источнику тока ВУП-2. Сверху располагали клеевой прокладочный материал - нетканый флизелин G405, поверхностной плотности 50 г/м^2 , и дублировали на прессе при температуре $140 \text{ }^\circ\text{C}$ в течение 20 с под давлением 0,04 МПа [173, 174]. В результате углеродная нить надежно фиксируется в структуре электрообогреваемого композиционного текстильного материала (ЭОКТМ).

При разработке структуры ЭОКТМ исследовали влияние линейной плотности нити, способа формирования структуры ЭОКТМ, напряжения и времени питания на температуру нагрева его поверхностей.

Исследовали 2 способа укладки углеродной нити (рисунок 4.1) [175]:

1 способ - расположение углеродной нити «синусоидально», варьируя расстояние между рядами h от 10 до 50 мм (рисунок 4.1, тип А);

2 способ - наложение отрезков углеродной нити друг на друга вдоль нитей основы и утка хлопчатобумажной основы, с образованием квадратных ячеек разного размера h от 10×10 до 50×50 мм (рисунок 4.1, тип В).

Кодирование и показатели свойств и структуры исследуемых образцов представлены в (таблице 4.1). Напряжение изменяли от 12 до 24 В. Измерение сопротивления (R , Ом) проводили на приборе Tesla BM 591 LCRG METER, напряжение - милливольтметром С.Р. GOERZ WIEN. Температуру поверхности многослойного материала измеряли термопарой К типа SE030, диаметр датчика 1,5 мм, диапазон температур $(-50) \div (+250)$ °С. Измерение сопротивления образцов под номерами 10, 11 и 12 с ячеистым расположением углеродных нитей, проводили в долевом и поперечном направлениях ячейки. Результаты измерений представлены в таблице 4.1.

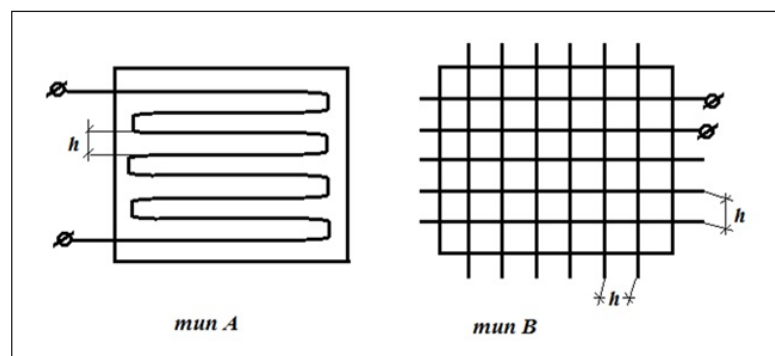


Рисунок 4.1 - Схема расположения углеродной нити в структуре электрообогреваемого композиционного текстильного материала

Из данных (таблицы 4.1) видно, что образцы №3-6 с синусоидальным расположением электропроводящей нити линейной плотности 205 и 400 текс и расстоянием между витками $h=10$ и 20 мм характеризуются сопротивлением 1,91-2,9 Ом, приходящемся на 1 м^2 образца, и обеспечивают нагрев поверхности многослойного материала до температуры $35-45^\circ\text{C}$. Материалы с такими показателями электрофизических свойств рекомендуются для изделий эксплуатируемых человеком в статике, например спальные мешки и т.п., а также для изделий используемых в условиях низких температур от (-20°C) и ниже.

Образцы №2 и №7 характеризуются сопротивлением 1,50-1,80 Ом приходящемся на 1 м^2 образца, обеспечивают нагрев материала до $28-33,5^\circ\text{C}$, и рекомендуются в качестве обогревающего слоя рабочей спецодежды. Образцы №1, №8-9 не обеспечивают требуемый температурный режим. Расположение

электропроводящего слоя ячейками - тип В, образцы №10-12 также не обеспечивают необходимый температурный режим [175].

Таблица 4.1 - Данные показателей структуры исследуемых образцов ЭОКТМ

Структура ЭОКТМ	Номер образцов	Линейная плотность углеродной нити, Т, текс	Расстояние между рядами углеродной нити, h, мм	Сопротивление, R, Ом, на 1 м ² , при 100 Гц	Температура поверхности проб, °С
Тип А	Образец №1	Н-400	50	1,05	21,5
	Образец №2	Н-400	30	1,50	28,0
	Образец №3	Н-400	10	2,60	40,0
	Образец №4	Н-400	20	1,91	35,0
	Образец №5	Н-205	20	2,65	40,5
	Образец №6	Н-205	10	2,90	45,0
	Образец №7	Н-205	30	1,80	33,5
	Образец №8	Н-800	10	0,84	20,5
	Образец №9	Н-205	50	1,34	25,5
Тип В	Образец №10	Н-400	10x10	1,36/1,29 *	26
	Образец №11	Н-205	20x20	0,99/0,97	24
	Образец №12	Н-400	20x20	0,84/ 0,93	23

Примечания: * - в числителе данные вдоль, в знаменателе – поперек полотна; Температура окружающей среды - $T_{окр.ср.} = 21,7$ °С. Коэффициент вариации – не более 5%.

Разные показатели сопротивления одинаковых нитей по основе и утку свидетельствуют о неоднородности структуры углеродной нити, что согласуется с известными данными. Углеродные волокна в своем составе содержат не только углерод, но и достаточно высокий процент других атомов, а также в них присутствуют аморфные углеродные структуры. Кроме того, на электропроводность УВ влияет не только молекулярная, но и надмолекулярная структура, которая зависит от степени вытяжки, как исходного волокна, так и УН [172]. Эти факторы и обуславливают незначительное расхождение в показаниях свойств, коэффициент вариации не более 5%.

Если сила тока одна и та же на всём протяжении электрической цепи, то в любом выбранном участке, тем больше будет выделяться тепла, чем выше сопротивление данного участка. Таким образом, увеличением сопротивления

участка цепи можно добиться локализованного увеличения выделения тепла на этом конкретном участке. В работе повышение сопротивления мы достигаем увеличением длины проводника за счет сокращения расстояния между электропроводящими нитями и уменьшением поперечного сечения нитей.

Результаты исследований показали (рисунок 4. 2), что на всех образцах не зависимо от напряжения в течение 60 сек температура поверхности ЭОКТМ достигает максимального значения, после чего изменяется незначительно, лишь на 0,5-1,5°C, за счет теплотерь в окружающую среду. Увеличение напряжения с 12 до 24 В обеспечивает повышение температуры поверхности ЭОКТМ лишь на 2-3°C.

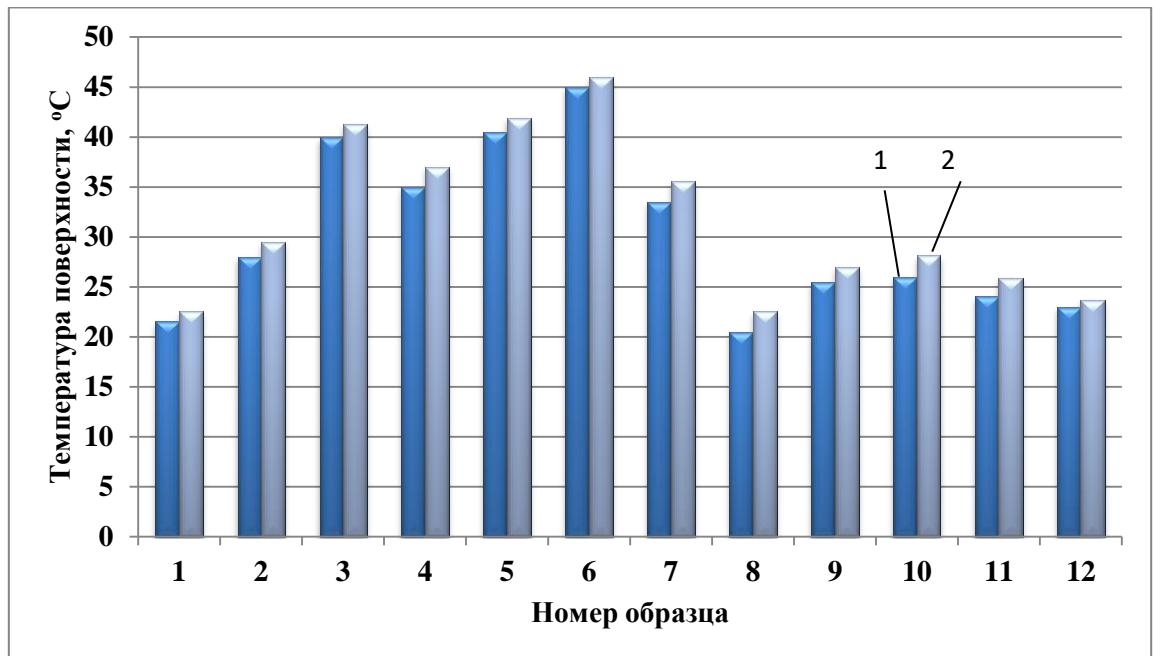


Рисунок 4.2 - Влияние структуры ЭОКТМ и времени подачи напряжения 12 В, на температуру нагрева поверхности. Время измерения от начала подачи напряжения: 1 - 60 сек, 2 - 300 сек

Температура поверхности в большей степени зависит от структуры ЭОКТМ. Формирование структуры по типу А, то есть «синусоидально», только за счет изменения расстояния между витками, h , позволяет изменять температуру поверхности ЭОКТМ с 25,5 до 45°C, и по данным (рисунок 4.3), эта зависимость имеет логарифмический характер и описывается уравнением (4.1):

$$y = -12,2 \ln h + 74,7 \quad (4.1)$$

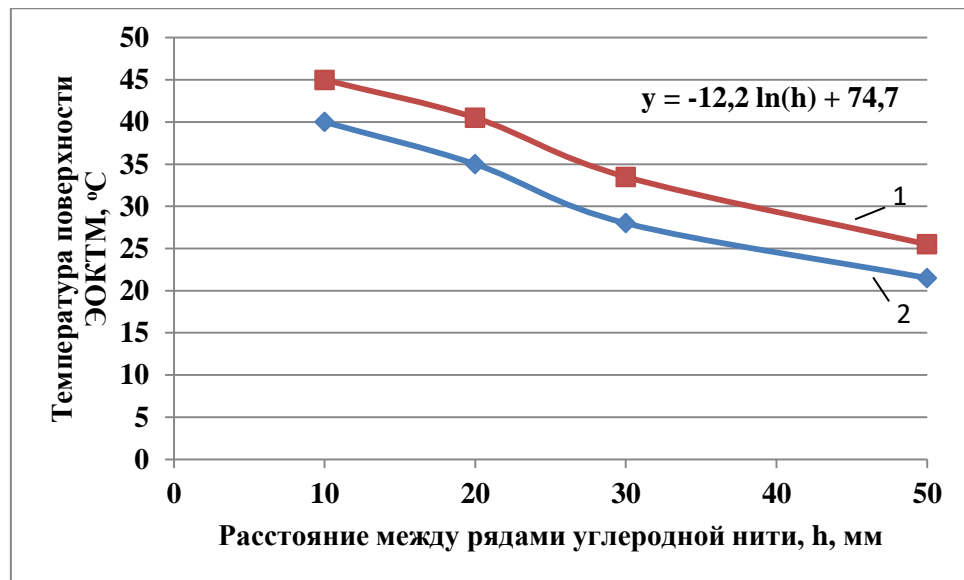


Рисунок 4.3 - Зависимость температуры поверхности ЭОКТМ от расстояния между нитями синусоидально расположенными углеродными нитями линейной плотности: 1 - 205 текс; 2 - 400 текс

Используя закон Джоуля-Ленца о том, что мощность тепла, выделяемого в единице объёма среды при протекании электрического тока, пропорциональна произведению плотности электрического тока на величину напряженности электрического поля, рассчитали количество выделенной теплоты:

$$Q = I^2 R t = \frac{U^2 t}{R} = I U t$$

где Q - количество теплоты (Дж), выделяемое за промежуток времени t (с), I - сила тока (А), R – сопротивление (Ом), U – напряжение (В).

Для расчёта по данной формуле определяли силу тока (А) по формуле: $I = \frac{U}{R}$. Результаты расчета силы тока представлены в таблице 4.2. Результаты расчетов количества выделяемого тепла, некоторых образцов (рассчитывали для всех структур образцов), представлены в таблице 4.3 и 4.4.

Таким образом, ЭОКТМ, сформированный из электропроводящей углеродной нити, уложенной на текстильную основу «синусоидально» с расстоянием между рядами 30 мм и сопротивлением 1,5-1,9 Ом, обеспечивает требуемый тепловой комфорт пододежного пространства, за счет нагрева до температуры 28-33,5°С и выше, и постоянного подвода тепла от 80 до 120 кДж в пододежное пространство.

Таблица 4.2- Расчет силы тока, А

	№2	№4	№5	№7	№9	№10	№11	№12
Напряже- ние, В	Сопротивление, Ом							
V/Ом	0,0021	0,00197	0,00077	0,00119	0,00134	0,00162	0,00224	0,00499
40	18691	20304	51948	33613	29739	24691	17857	8008
50	23364	25380	64935	42016	37174	30864	22321	10010
60	28037	30456	77922	50420	44609	37037	26785	12012
70	32710	35532	90909	58823	52044	43209	31250	14014

Таблица 4.3. Количество теплоты, Дж, образованной структурой ЭОКТМ

Условия	Количество теплоты, Дж, образованной структурой образцов														
	Образец №2			Образец №4			Образец №5			Образец №7			Образец №9		
	Время, сек			Время, сек			Время, сек			Время, сек			Время, сек		
V/T, сек	60	150	300	60	150	300	60	150	300	60	150	300	60	150	300
40	20934	21084	21308	22741	22741	23147	61298	61922	62337	37915	38319	38991	33903	33903	33903
50	32359	32710	32710	34898	35532	35532	91558	94805	97402	58823	60924	60924	52044	52973	52973
60	47102	48785	49626	51167	52446	52081	137922	142597	144935	86218	89546	91361	76282	77620	78959
70	64112	64570	66401	69644	70142	70888	184545	196000	198545	117352	121470	123941	103100	107472	109293

Таблица 4.4. Количество теплоты, Дж, образованной структурой образцов

Условия	Количество теплоты, Дж, образованной структурой образцов								
	Образец №10			Образец №11			Образец №12		
	Время, сек			Время, сек			Время, сек		
V/T, сек	60	150	300	60	150	300	60	150	300
40	24691	24691	25185	18214	18214	18571	7847	7847	8008
50	38580	39351	40123	27901	29017	29017	12262	12512	12512
60	56666	57777	58888	43392	45000	45803	18018	18738	19099
70	80154	80154	81666	57312	61250	63437	25505	26486	26976

Выявленные закономерности формирования структуры терморегулируемого текстильного материала позволят управлять процессом проектирования материалов с учетом требований потребителей.

Главной задачей, которую необходимо выполнить при уточнении расположения углеродной нити в структуре ЭОКТМ, является получение требуемой электрической мощности. При правильном подборе пакета материалов электрическая мощность, необходимая для нагрева верхней одежды (куртки или другого изделия), должна быть примерно такой же, как выделяемая зимой обычным человеком при интенсивной ходьбе - около 100 Вт [77, 164].

Питание ЭОКТМ от электрического аккумулятора с номинальным напряжением 12 В. В схеме питания разработанного для изготовления верхней одежды ЭОКТМ (рисунок 4.4) более высоких напряжений нет. Чтобы выделять в течение часа мощность 100 Вт аккумулятор должен иметь емкость не менее 10 А·ч. Мощность электрического нагревателя должна восприниматься как равномерно распределенная по площади деталей изделия.

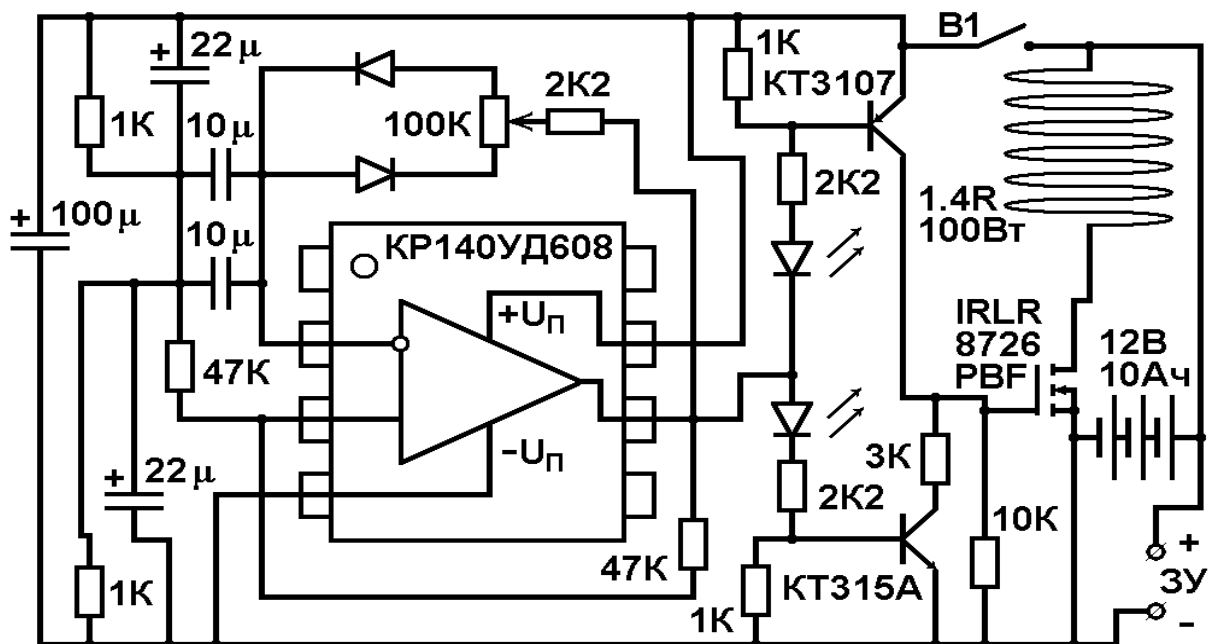


Рисунок 4.4 - Электрическая схема управления мощностью ЭОКТМ

Поэтому несущие ток элементы, в которых выделяется мощность, не должны располагаться на взаимном расстоянии, более чем вдвое превышающем расстояние от них до кожи. Расстояние между синусоидально расположенными нитями равно 20-30 мм, оценено как наиболее подходящее. К петлям УН с четными номерами, специальным способом присоединен провод питания с

положительным зарядом, а к нечетным - отрицательный. При этом промежутки между петлями провода заизолированы. К проводам припаян общий провод питания. Отрицательный и положительный провода разнесены для изоляции и закреплены в структуре ЭОКТМ дублированием текстильной основы и покрывного слоя. Провод питания прочно зафиксирован в структуре ЭОКТМ. Таким образом, на образце основной ткани ЭОКТМ площадью 1 м^2 , расположено 150 параллельно соединенных элементов с длиной углеродной нити 100 см и сопротивлением - 195 Ом. Общее сопротивление ЭОКТМ равно 1,5-1,9 Ом на 1 м^2 . Предложенная схема электропитания, даже при выходе из строя нескольких элементов ЭОКТМ, будет сохранять свои функциональные способности. Разработка схемы электрического питания ЭОКТМ была осуществлена на кафедре физике РГУ им. А.Н. Косыгина профессором С.В. Родэ и доцентом Е.Ю. Шампаровым [176].

В качестве источника питания электронагреваемого слоя ЭОКТМ в работе использовали низковольтный источник постоянного тока, малогабаритный аккумулятор Li-PO (3S) массой - 165 г, емкостью - 2200 мА/ч, с безопасным рабочим напряжением - 12 В и работой в нескольких температурных режимах, что позволяет пользователю сохранять свободу перемещения и управлять температурой нагрева и микроклиматом пододежного пространства.

Исследование физико-механических свойств ЭОКТМ показало (таблица 4.5), что разработанный материал обладает высокой гибкостью, прочностью, низкой материалоемкостью и хорошими гигиеническими свойствами.

Таблица 4.5 - Показатели физико-механических свойств ЭОКТМ

Наименование показателя	Значение показателя
Поверхностная плотность, г/м^2	195
Прочность клеевого соединения, Н/см	8,3
Разрывная нагрузка, даН, основа/уток	67,5/73,5
Жесткость при изгибе, $\text{мкН}\cdot\text{см}^2$, основа/уток	4200/4610
Воздухопроницаемость, $\text{дм}^3/\text{м}^2\text{с}$	230
Относительная паропроницаемость, %	35,8

Таким образом, в результате проведенных исследований выявлены закономерности формирования структуры терморегулируемого текстильного материала, которые позволили минимизировать количество дорогостоящей углеродной нити, достичь равномерности нагрева поверхности ЭОКТМ и управлять процессом проектирования материалов с учетом требований потребителей.

Разработанный ЭОКТМ, сформированный из электропроводящей углеродной нити, уложенной на текстильную основу «синусоидально» с расстоянием между рядами 20-30 мм и сопротивлением 1,5-1,9 Ом, обеспечивает требуемый тепловой комфорт пододежного пространства, за счет нагрева до температуры 28-33,5°С и выше, и постоянного подвода тепла от 80 до 120 кДж в пододежное пространство.

4.2 Разработка способа производства и исследование свойств электрообогреваемого композиционного текстильного материала для терморегулируемой одежды

В работе разработан способ производства ЭОКТМ в производственных условиях (рисунок 4.5), согласно которого первый текстильный материал - текстильная основа 1, ткань или нетканое полотно из натуральных, химических или смесовых волокон любой поверхностной плотности, например ткань арт. 210 (100% Хл) или нетканое полотно Сютн арт. 934501, поверхностной плотности 100 г/м², устойчивые к многократным изменениям температуры, прочные и легкие, подаются на кардоленту 2 с иглами по левому и правому краям.

Электропроводящий слой 7 формируют из любого металлсодержащего или углеродсодержащего материала в виде проволоки, или нити, или жгута, или ленты с сопротивлением 1,5-2,9 Ом, приходящемся на 1 м² образца. Углеродная нить линейной плотности 205 или 400 текс с удельным поверхностным сопротивлением 120 и 240 Ом/м, соответственно, и удельным электрическим сопротивлением 8,5·10⁻⁵ Ом·м.

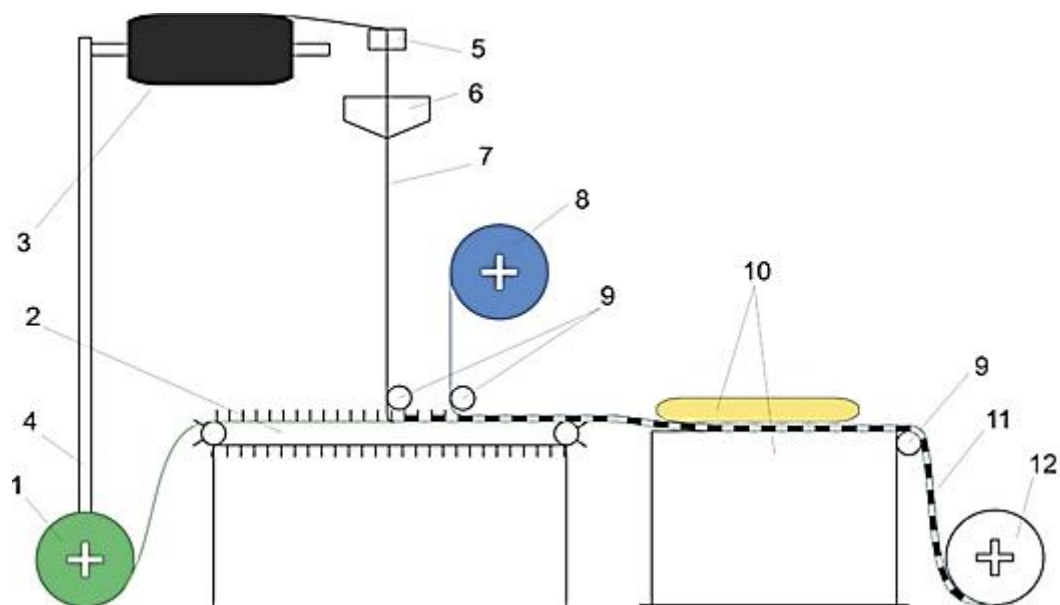


Рисунок 4.5 - Схема способа производства разработанного электрообогреваемого композиционного текстильного материала

Электропроводящая углеродная нить 7 с бобины 3, установленной в бобинодержатель 4, через направляющее устройство 5 подают на нитеукладчик 6, который укладывает ее синусоидально (рисунок 4.1) между иглами кардоленты 2 на текстильную основу 1, с расстоянием между рядами 10-30 мм.

Сверху располагают второй покрывной слой 8- термоклеевой прокладочный материал тканый или нетканый, например, термоклеевой прокладочный материал флизелин клеевой G405 поверхностной плотности 65 г/м² с односторонним полиамидным клеевым покрытием, клеевым покрытием вниз, который подается по направляющим роликам 9.

Сформированный пакет материалов дублируют на прессе 10 проходного типа или на каландре при температуре 155°C, то есть на 15-20°C выше температуры плавления клеевого адгезива, в течение 20 с, под давлением 0,04 МПа [174]. В результате углеродная нить надежно фиксируется в структуре ЭОКТМ. Готовый материал 11 наматывается на приемный вал 12.

С учетом запросов потребителей, ширина многослойного электропроводящего обогревающего текстильного материала может варьировать

в широких пределах от 20 до 100 см и более, за счет замены кардоленты с требуемым расположением игл по ширине полотна.

Таким образом, способ производства многослойного ЭОКТМ достаточно прост и экономичен, не требует больших площадей и может быть организован, как на текстильном, так и на швейном производстве.

На предприятии ООО «КВН СЕРВИС» была создана опытно-промышленная установка по разработанному способу производства ЭОКТМ (рисунок 4.5). Ширина кардоленты - 60 см, расстояние между иглами вдоль кардоленты - 3,0 см, поперек – 40 см. Сформированный пакет материалов дублировали на прессе проходного типа (модель QUICK MINI PRESS NHJ-J500, производства Китай) при температуре 155°С и давлении 0,04 МПа. Нарботана опытно-промышленная партия образцов ЭОКТМ трех структур, по 20 п.м. каждого вида, о чем свидетельствует акт предприятия (приложение А).

Структура первого образца состоит из: 1 слой – хлопчатобумажная ткань арт. 210, ширина 60 см, отбеленная, полотняного переплетения; 2 слой – углеродная нить линейной плотности 205 текс уложенная синусоидально на первый слой; 3 – слой термоклеевой прокладочный материал флизелин клеевой G405, ширина 60 см.

Структура второго образца отличается от первого тем, что 2 слой - углеродная нить используется линейной плотности 400 текс.

Структура третьего образца отличается от первого тем, что 1 слой – иглопробивное клеевое нетканое полотно Сютт, арт. 934501. Ширина полотна 60 см (без клеевого покрытия).

Формирование разных структур продиктовано поиском оптимального состава и рационального конфекционирования при проектировании изделий легкой промышленности. Характеристики свойств разработанных ЭОКТМ и полученных в производственных условиях представлены в (таблице 4.6).

Исследование физико-механических свойств ЭОКТМ показало, что образец №3 полученный на основе нетканых полотен, обладает невысокой прочностью при растяжении, поэтому может рекомендоваться для изделий, не испытывающих

большие нагрузки при эксплуатации, например в качестве обогреваемых укрывных изделий.

Таблица 4.6 - Характеристики свойств разработанных ЭОКТМ

Характеристики свойств	Показатели свойств		
	Образец №1	Образец №2	Образец №3
Состав структуры ЭОКТМ	Ткань арт.210 (100 Хл), УН-205, флизелин клеевой G405	Ткань арт.210 (100 Хл), УН-400, флизелин клеевой G405	Нетканое полотно Сянт арт. 934501 (30ПАН,40ПА,30ВВ), УН-205, флизелин клеевой G405
Поверхностная плотность, г/м ²	195	225	200
Прочность клеевого соединения, Н/см	8,3	8,3	7,9
Разрывная нагрузка, даН, основа/ уток	67,5/73,5	68,1/79,4	15,9/29,5
Жесткость при изгибе, мкН·см ² , основа/уток	4200/4610	4524/4925	5060/5345
Воздухопроницаемость, дм ³ /м ² с	230	228	148
Относительная паропроницаемость, %	35,8	35,4	29,8
Расстояние между рядами углеродной нити, мм	30	30	30
Температура поверхности образцов ЭОКТМ, °С	33,3	28,5	33,5

Примечание: УН – углеродная нить, Хл – хлопок. Коэффициент вариации по показателям свойств не превышал 4,7%

Образцы №1 и №2 характеризуются высокой прочностью при растяжении и прочностью при расслаивании клеевого соединения слоев ЭОКТМ, что обеспечит надежную фиксацию УН в структуре материала и сохранение ее целостности при эксплуатации готовых изделий. ЭОКТМ достаточно гибкий, и по жесткости отвечает требованиям, предъявляемым к прокладочным материалам верхней одежды. Высокая паропроницаемость и способность пропускать воздух обеспечат выводение капиллярной влаги пододежного пространства. Температура поверхности на первом режиме в течение 1 минуты достигает 28,5-33,3°С. Переключая малогабаритный аккумулятор Li-PO (3S) во второй температурный режим, можно повысить температуру до 36-40°С. Учитывая, что образец №1 по

массе на 30 г/м² легче образца №2, и стоимость углеродной нити линейной плотности 205 текс дешевле, то выбор образца №1 для дальнейших исследований является более предпочтительным.

Разработанный ЭОКТМ можно рекомендовать для изготовления широкого ассортимента изделий: различной специальной и бытовой одежды - термообогреваемых жилетов, курток, комбинезонов, перчаток, стелек для обуви и других целей; изделий бытового и технического назначения - обогреваемых многослойных простыней, одеял, подушек для автомобилей и т.п.; медицинских изделий специального назначения - электрообогреваемые комплекты для машин скорой помощи, пояса для больных радикулитом и другие изделия; походные подогреватели продуктов питания, в том числе детского.

Таким образом, в результате проведенных исследований разработан способ производства терморегулируемых текстильных материалов, исследованы свойства и определены области их применения.

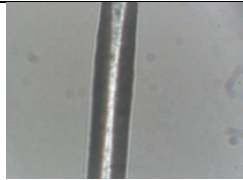



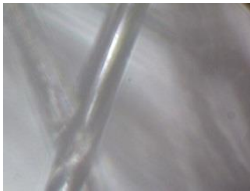

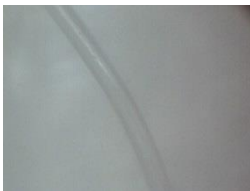
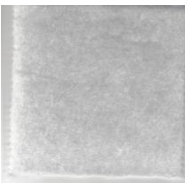
4.3 Исследование и прогнозирование теплозащитных свойств утепляющих материалов разных производителей

При разработке пакетов теплозащитной одежды с применением разработанного термообогревающего материала, обоснованного и рационального размещения слоёв в структуре пакета, необходима достоверная информация о структуре и свойствах современных отечественных утеплителей одежды. Главной задачей утепляющих прокладочных материалов является поддержание теплового баланса в пододежном пространстве и обеспечение комфортного состояния организма человека. Анализ литературных данных [29, 45, 55, 177, 232] показал, что на российском рынке предлагают отечественные утеплители брендов: «Холлофайбер» (ООО «Термопол»), «Шелтер» (ООО «Весь мир») и «Термофин» (ООО «Текстайм»), полученные по инновационным технологиям из ультротонкого и бикомпонентного полиэфирного волокна, которые, как утверждает реклама, не уступают импортным аналогам, например

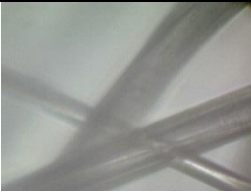

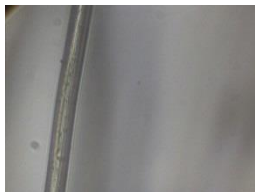
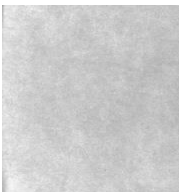

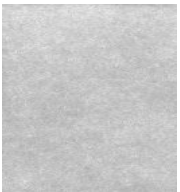
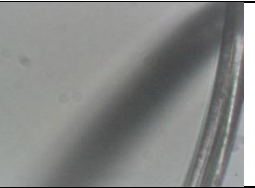
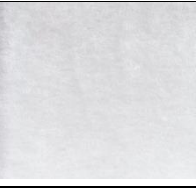






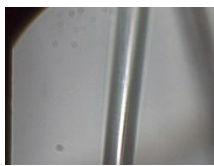

«Тинсулейту™» производства американской компанией «3М» из тончайших полиэфирных волокон. При этом обладают привлекательной ценой, и адаптированы к Российским климатическим условиям, что делает их особенно привлекательными в качестве утеплителей одежды, в том числе терморегулируемой. Однако учитывая высокие требования нормативных документов и отсутствие четких рекомендаций по рациональному использованию данных утеплителей в различных климатических зонах России, возникает необходимость исследования структуры и свойств этих материалов и разработка рекомендаций по их рациональному применению, с целью надежной защиты пользователя от переохлаждения и обеспечения комфорта.

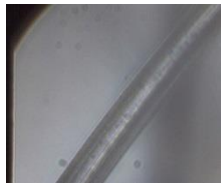

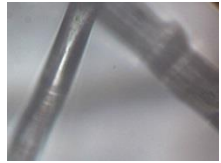





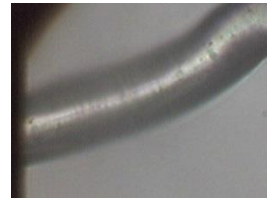


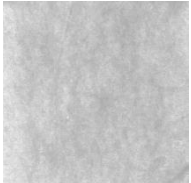
Исследование структуры утеплителей проводили с помощью оптической микроскопии. Результаты представлены в таблице 4.7.

Таблица 4.7 - Данные оптической микроскопии структуры утеплителей

Наименование образцов	Поверхностная плотность, г/м ²	Волокнистый состав, %	Микроскопия	Сканирование
1	2	3	4	5
«Холлофайбер»				
Холлофайбер СОФТ Р 5190	70	Полиэфир		
Холлофайбер СОФТ ПРИМ Z P 5191	100	Полиэфир		
Холлофайбер СОФТ ПРИМ Z P 8391	100	Полиэфир		
Холлофайбер СОФТ ПРИМ К	150	Полиэфир		

Продолжение таблицы 4.7

1	2	3	4	5
Холлофайбер СОФТ ПРИМ Z	250	Полиэфир		
Холлофайбер СОФТ ПРИМ Z	300	Полиэфир		
Холлофайбер ПРОФИ P 35197	150	Полиэфир		
Холлофайбер ПРОФИ P 35198	200	Полиэфир		
Холлофайбер СОФТ P 5198	200	Полиэфир		
Холлофайбер Волюметрик Н	200	Полиэфир		
Холлофайбер ТЭК	100	Полиэфир		
Холлофайбер ТЭК	150	Полиэфир		

1	2	3	4	5
Холлофайбер ТЭК	200	Полиэфир		
«Termofinn»				
Termofinn Micro	100	85- полимер 15-бикомпонент		
Termofinn	150	85- полимер 15-бикомпонент		
Termofinn	200	85- полимер 15-бикомпонент		
Termofinn Plus	150	85- полимер 15-бикомпонент		
«Шелтер»				
Shelter Profi ST и Shelter Micro	100, 150, 200	100% тонких полых полиэфирных		

Из (таблицы 4.7) видно, что поверхность волокон нетканого утеплителя Холлофайбер Софт без дефектов, ровная. По характерным признакам горения волокнистый состав полотен - 100% полиэфирное волокно. Длина штапеля колеблется в пределах 60-65 мм. По линейной плотности волока можно разделить на две группы: часть волокон характеризуется линейной плотностью 0,07-0,13

текс, а часть 0,33-0,47 текс. Следовательно, структура нетканого полотна состоит из полиэфирных микроволокон и более толстых бикомпонентных волокон. Как утверждает производитель, бикомпонентное полиэфирное волокно имеет структуру по типу ядро-оболочка, в котором ядро состоит из полиэтилентерефталата с температурой плавления $\approx 260^{\circ}\text{C}$, а оболочка из полиэтилентерефталата с температурой плавления $115-130^{\circ}\text{C}$. Соотношение волокон бикомпонентного и ультратонкого как 2:3, соответственно (подсчет проводили на образцах площадью 25 см^2).

Бикомпонентное полиэфирное волокно при термообработке приобретает структурную спиральную извитость и соединяет волокна полотна. Соединение структуры полотен наблюдается в местах пересечения волокон за счет термоскрепления. Волокна расположены хаотично, с образованием комочков из хаотично перепутанных волокон (рисунок 4.6).



Рисунок 4.6 – Поперечный срез структуры нетканого полотна Холлофайбер

Хаотичная разнонаправленность волокон в структуре придает нетканому полотну высокую упругость, формоустойчивость и хорошие теплозащитные свойства, за счет высокой пористости и большего содержания воздуха.

«Холлофайбер ТЭК» и «Холлофайбер Медиум» имеют более матовую поверхность волокон, по-видимому, за счет различных модификаций и отделок. Для предотвращения миграции волокон, нетканые полотна, с одной или двух сторон, подвергаются дополнительной термообработке - каландрированию, благодаря которой образуется плотный поверхностный слой, препятствующий миграции волокон через ткани верха и подкладки.

Termofinn Micro компания «Текстайм» по волокнистому составу на 80-85% состоит из ультратонких полиэфирных волокон, и на 15-20% из бикомпонентных полиэфирных волокон по типу ядро-оболочка, аналогично Холлофайберу. Установлено, что ультратонкое микроволокно линейной плотности 0,07-0,09 текс,

бикомпонентное 0,33-0,5 текс. Поверхность нетканых полотен каландрированная, для предотвращения миграции волокон.

Утеплители Shelter Profi ST и Shelter Micro ООО «Фабрика нетканых материалов «Весь мир» производят из полых полиэфирных волокон. Определили, что линейная плотность полиэфирных полых волокон 0,07-0,15 текс. Полотна однородные по структуре и поверхность нетканых полотен каландрированная, для предотвращения миграции волокон.

Физико-механических свойств нетканых утеплителей представлены в таблице 4.8.

Таблица 4.8 - Физико-механические свойства нетканых утеплителей

№ Образца	Наименование образцов	Поверхностная плотность, г/м ²	Теплопроводность, Вт/(м·К) / тепловое сопротивление, м ² ·К/Вт	Толщина, мм, при давлении 0,2кПа,	Разрывная нагрузка, Н, длина/ширина	Удлинение при разрыве, %, длина/ширина
1	2	3	4	5	6	7
«Холлофайбер»						
1	Холлофайбер СОФТ Р 5190	70	0,0356/0,197	7	7,0/5,0	35,2/44,3
2	Холлофайбер СОФТ Р 5191	100	0,0413/0,184	7,6	9,8/7,0	45,0/47,0
3	Холлофайбер СОФТ ПРИМ Z Р 8391	100	0,0410/0,204	8,4	9,5/7,0	43,0/49,0
4	Холлофайбер СОФТ ПРИМ К	150	0,0385/0,275	10,6	7,5/7,2	42,0/48,5
5	Холлофайбер СОФТ Р 5198	200	0,0360/0,366	13,2	7,5/7,0	48,0/49,0
6	Холлофайбер СОФТ ПРИМ Z	250	0,0342/0,409	14,0	7,9/7,4	44,0/47,0
7	Холлофайбер СОФТ ПРИМ Z	300	0,0338/0,458	15,5	7,5/7,1	43,0/49,0
8	Холлофайбер ПРОФИ Р 35197	150	0,0252/0,552	12,1	10/8,5	29,0/43,1
9	Холлофайбер ПРОФИ Р 35198	200	0,0562/0,356	20,0	12/8,0	36,2/39,2
10	Холлофайбер Волюметрик Н	200	0,069/0,350	24,1	11,5/7,0	42,5/44,1
11	Холлофайбер ТЭК	100	0,0406/0,167	6,8	9,5/7,2	49,2/47,1
12	Холлофайбер ТЭК	150	0,0325/0,332	10,8	9,5/8,5	46,2/34,5
13	Холлофайбер ТЭК	200	0,0496/0,313	15,5	7,6/7,2	48,5/45,0
«Termofinn»						
14	Termofinn 100	100	0,0378/0,198	6,8	9,5/9,2	45,1/40,3

1	2	3	4	5	6	7
15	Termofinn 150	150	0,0323/0,336	10,7	10,0/9,3	43,1/44,2
16	Termofinn 200	200	0,0407/0,364	14,8	9,7/9,0	40,0/37,2
17	Termofinn Plus 150	150	0,0346/0,315	10,9	15/9,0	41,0/48,1
«Флайтекс»						
18	ST нетканое объемное	100	0,0312/0,221	6,9	8,0/7,8	38,5/40,0
19	Air o нетканое объемное	100	0,0331/0,175	5,8	7,5/7,5	44,2/46,1
20	ST нетканое объемное	150	0,0311/0,228	7,1	7,9/7,5	48,0/41,0
21	Air нетканое объемное	150	0,0372/0,218	8,1	7,5/7,0	49,5/45,0
22	ST нетканое объемное	200	0,0469/0,237	11,1	8,2/7,9	49,5/42,9
23	Air нетканое объемное	200	0,0399/0,171	6,8	7,9/7,0	47,4/45,6
«Шелгер»						
24	Micro	150	0,0342/0,140	4,8	7,7/7,4	50,0/48,8
25	Micro в 2 слоя	150	0,0373/0,257	4,8 x 2	-	-

Исследование физико-механических свойств нетканых утеплителей (таблица 4.8) показало, что с увеличением поверхностной плотности утеплителя Холлофайбер (образцы 1-7) с 70 до 300 г/м², теплопроводность полотен снижается, толщина увеличивается примерно в 2 раза, за счет чего повышаются теплозащитные свойства утеплителей. Образцы 5-10, 12 и 13 по теплозащитным свойствам отвечают требованиям ГОСТ 57027-2016 и ГОСТ 57632-2017, суммарное тепловое сопротивление нетканого утеплителя для утепленной прокладки верхней одежды должно быть от 0,25 до 0,45 м²°С/Вт, а для спецодежды - утеплитель с поверхностной плотностью 150 г/м² - не менее 0,3 м²°С/Вт. Остальные образцы можно использовать в несколько слоев для обеспечения теплозащитных свойств зимней одежды. Все образцы Холлофайбер отвечают требованиям стандарта по прочности, разрывная нагрузка более 7 Н и разрывное удлинение не более 55%.

Сравнение свойств разных моделей утеплителей линии Холлофайбер, но одной поверхностной плотности 100 г/м² показало, что по теплопроводности образцы 2, 3 и 11 отличаются незначительно, однако толщина полотен уменьшается, следовательно тепловое сопротивление также снижается с 0,204 м²·К/Вт для Холлофайбер СОФТ ПРИМ Z P 8391 (образец 3) до 0,167 м²·К/Вт для

Холлофайбер ТЭК (образцы 11), за счет уменьшения пористости, и эта зависимость является прямолинейной (рисунок 4.7).

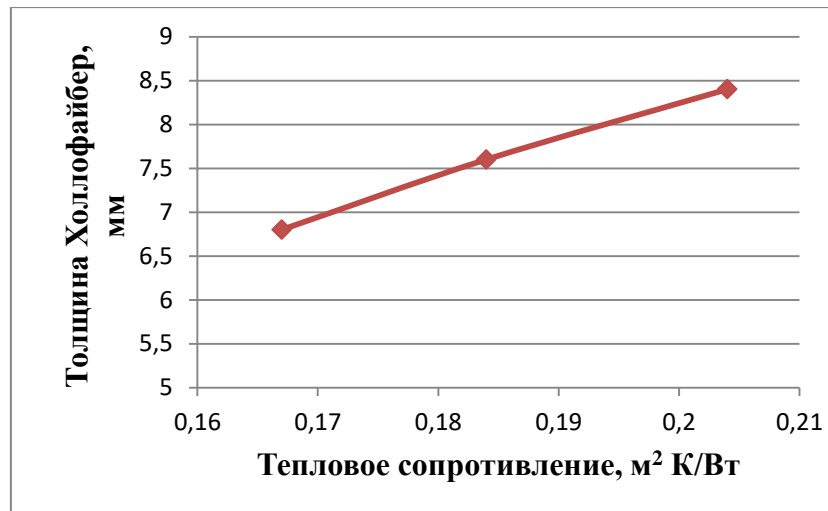


Рисунок 4.7 - Зависимость теплового сопротивления от толщины полотен утеплителя Холлофайбер

Утеплители нетканые производителя «Termofinn» (образцы 14-17) обладают высокой прочностью при разрыве 9-10 Н, и удлинением менее 50%. По теплозащитным свойствам образцы 15-17 можно рекомендовать в качестве утеплителя теплозащитной одежды. С увеличением поверхностной плотности тепловое сопротивление возрастает (таблица 4.8).

Объемные нетканые утеплители производителя «Флайтекс» (образцы 18-23) марки ST нетканое объемное (образцы 18, 20 и 22) обладают лучшими теплозащитными свойствами по сравнению с неткаными утеплителями такой же поверхностной плотности марки Air (образцы 19, 21 и 23) и большей прочностью при растяжении.

Объемный нетканый утеплитель производителя «Шелтер» (образец 24) самый тонкий, и при поверхностной плотности 150 г/м² характеризуется толщиной 4,8 мм, сравнительно высокой прочностью 7,7 даН по длине и 7,4 даН по ширине, тепловое сопротивление 0,140 м²·К/Вт, что делает его привлекательным для использования в качестве утеплителя демисезонной одежды. Отмечено, что с увеличением поверхностной плотности и объемной толщины теплопроводность полотен изменяется от 0,0413 до 0,0338 Вт/(м·К)

(таблица 4.8), что повышает теплозащитные свойства утеплителей. Кроме того, теплозащитные свойства зависят от структуры полотен, так при одинаковой поверхностной плотности 150 г/м^2 , полотно Термофинн характеризуется большей объемной толщиной и лучшими теплозащитными свойствами $R=0,336 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$, за счет содержания в структуре большего количества воздуха.

Таким образом, в результате исследований установлено, что тепловое сопротивление всех анализируемых объемных нетканых утеплителей высокое. Механические свойства исследуемых утеплителей соответствуют требованиям стандартов ГОСТ 57027-2016 и ГОСТ 57632-2017. Получены справочные данные теплофизических и прочностных свойств нетканых утеплителей, что позволило обоснованно формировать пакеты материалов для утепленной одежды.

Учитывая, что прогнозирование позволяет значительно снизить материальные и временные затраты на проектирование изделий, в работе, используя теорию подобия и размерностей, получена функциональная зависимость суммарного теплового сопротивления от основных параметров структуры и свойств утепляющих объемных нетканых материалов [129, 178].

Основные факторы, которые влияют на теплозащитные свойства утепленной одежды, прежде всего на суммарное тепловое сопротивление материалов можно выразить в виде функциональной зависимости:

$$R = f(\rho, \lambda, Ms, T_n, K_v, C_n, C_k, O_c, S)$$

где R - тепловое сопротивление $\text{м}^2 \cdot \text{К/Вт}$; λ - теплопроводность волокон $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$; ρ - объемная плотность, г/м^3 ; Ms - поверхностная плотность, г/м^2 ; T_n - линейная плотность волокон, мг/м (г/м^3); S - площадь пробы, м^2 ; δ - толщина материала, м^{-3} ; C_n - способ формирования структуры полотен; C_k - способ скрепления; O_c - однородность структуры.

В качестве основных размерностей выбираем Ms , ρ и λ . Выбор этих показателей продиктован второй теоремой подобия, т.е. система имеет решение, причем единственное, если составленный из коэффициентов уравнения определитель будет отличен от нуля (в нашем случае, определитель равен 1). Подробные расчеты представлены в (приложении Ж). Решая системы уравнений,

находим критерии подобия и в результате применения теории подобия и анализа размерностей, получили функциональную зависимость суммарного теплового сопротивления от основных параметров структуры и свойств нетканых утеплителей в виде формулы:

$$R = \frac{T \cdot \rho \cdot S \cdot \delta}{M_s^2 \lambda}, \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт} \quad (4.1)$$

где R - тепловое сопротивление, $\text{м}^2 \cdot \text{К/Вт}$; ρ - объемная плотность, г/м^3 ; λ - теплопроводность волокон $\text{Вт/(м} \cdot \text{К)}$; M_s - поверхностная плотность, г/м^2 ; T - линейная плотность нитей, г/м^3 ; S - площадь пробы, м^2 ; δ - толщина, м.

Таким образом, в результате применения теории подобия и анализа размерностей получена функциональная зависимость теплового сопротивления от основных параметров структуры и свойств нетканых утеплителей, которая позволит прогнозировать теплозащитные свойства одежды на стадии ее проектирования, а также прогнозировать изменение теплозащитной функции одежды в процессе ее эксплуатации и снижения показателей качества материалов.

Проверку достоверности формулы (4.1) проводили на однослойных нетканых утеплителях и пальтовых тканях, предназначенных для зимнего ассортимента одежды. При этом расчетные значения суммарного теплового сопротивления, рассчитанного по формуле (4.1), сравнивали с экспериментальными значениями (таблица 4.9).

Таблица 4.9 - Расчетные и экспериментальные данные теплового сопротивления полотен

№ образца	Наименование образцов	M_s , г/м^2	$T_o + T_y$	λ , $\text{Вт/(м} \cdot \text{К)}$	δ , мм, давления 1 кПа	$R_{\text{эксп}}$, $\text{м}^2 \cdot \text{К/Вт}$	$R_{\text{расч}}$, $\text{м}^2 \cdot \text{К/Вт}$
1	Холлофайбер СОФТ Р 5191	100	0,15	0,0413	7,6	0,184	0,188
2	Холлофайбер СОФТ Р 5198	200	0,15	0,0360	13,2	0,366	0,360
3	Termofinn 200	200	0,15	0,0407	14,8	0,364	0,368
4	Ткань пальтовая арт. 45477	496	460	0,1925	2,83	0,147	0,140
5	Драп арт. 46368	541	600	0,183	2,63	0,144	0,146

Примечания: M_s - поверхностная плотность, г/м^2 ; T_n - линейная плотность нитей, мг/м (г/м^3), для нетканых полотен - результирующая $T = [(0,08 \cdot 80\%) + (20\% \cdot 0,42)]/100$; λ - теплопроводность волокон $\text{Вт/(м} \cdot \text{К)}$; δ - толщина материала, м^3 (ГОСТ 57632-2017); R - тепловое сопротивление $\text{м}^2 \cdot \text{К/Вт}$. - показатели экспериментальных данных при скорости воздуха 0 м/с [179].

Структурные характеристики нетканых полотен определяли по ГОСТ15902.2-2003. Объемную плотность ρ , г/м³, вычисляют по формуле: $\rho_0 = m/V_1$, где: m - масса материала, г; V_1 - объем материала в естественном состоянии, м³. Объем образца V , м³, вычисляли по формуле: $V_1 = a_{cp} \cdot b_{cp} \cdot h_{cp}$, где: a_{cp} , b_{cp} , h_{cp} - средние значения размеров сторон образца, м. Анализ данных (таблица 4.9) показал, что отклонение расчетных от экспериментальных данных не превышает 3%, что свидетельствует о высокой сходимости результатов. Следовательно, полученная математическая зависимость суммарного теплового сопротивления от структурных характеристик тканей позволит прогнозировать теплозащитные свойства материалов и одежды на стадии их проектирования.

Важной характеристикой утепляющих материалов является изменение свойств в процессе эксплуатации изделий от деформаций многократного сжатия. Учитывая, что теплозащитные свойства прямо пропорционально зависят от толщины утеплителя и пакета материалов, то исследовали влияние многократного сжатия на изменение толщины утеплителей в разных климатических условиях. Температуру изменяли от комнатной $(+20) \pm 1$ до $(-20) \pm 1$ °С, с гигроскопичной влажностью пробы. Упругие свойства нетканых объемных материалов характеризовали показателями устойчивости к однократному и многократному свободному сжатию по ГОСТ 57027-2016 [180]. Согласно ГОСТ 57027-2016 устойчивость к многократному сжатию нетканых объемных утеплителей для одежды должна быть не менее 70%.

Устойчивость к однократному R_1 , %, и многократному R_n , %, сжатию (восстанавливаемость) испытуемых проб вычисляли по формулам:

$$R_1 = 100 h_1/h_0 \quad R_n = 100 \cdot h_n/h_0$$

где h_0 - первоначальная толщина пробы при давлении 0,5 кПа, мм; h_1 - толщина пробы после одного цикла сжатия при давлении 5,0 кПа (0,05 кг·см²) в течение 5 мин и последующего отдыха в течение 15 мин, мм; h_n - толщина пробы после 10 цикла сжатия при давлении 5,0 кПа в течение 5 мин и последующего отдыха в течение 5 мин, мм.

Исследование механизма изменения упругих свойств нетканых объемных утеплителей Холлофайбер СОФТ 5198 и Termofinn 200 при температуре (+20)°С показало (рисунок 4.8), что с повышением поверхностной плотности и толщины утеплителей устойчивость к деформациям сжатия возрастает, за счет повышения упругой составляющей структуры полотен.

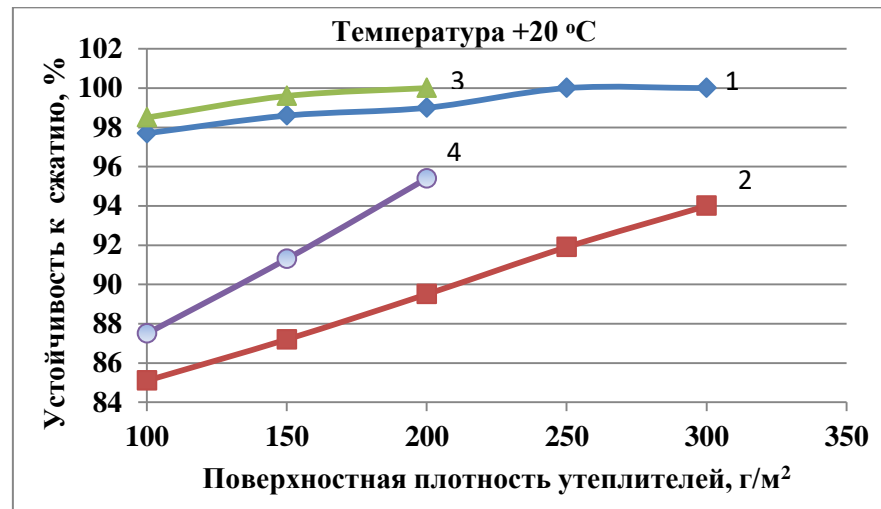


Рисунок 4.8 - Влияние поверхностной плотности утеплителей одежды -1, 2 - Холлофайбер СОФТ 5198 и 3, 4 - Термофин 200, на устойчивость к деформациям сжатия: 1, 3 - однократного и 2, 4 многократного сжатия. (Температура 20±1°С)
Коэффициент вариации не превышал 2,4%.

При одинаковой поверхностной плотности, большей упругостью обладает утеплитель Термофин 200, его устойчивость к деформациям многократного сжатия на 6% выше, по сравнению с утеплителем Холлофайбер СОФТ 5198. Отмечено, что при свободном сжатии наблюдается увеличение площади опорной поверхности за счет уменьшения пористости и изменения формы структурных элементов материала, изгиба нитей при сжатии.

Учитывая, что нетканые объемные утеплители предназначены для изделий осеннего и зимнего ассортимента одежды, которая эксплуатируется при температурах от 0 до -20°С и ниже, то исследовали влияние низких температур на упругость утеплителей при многократном сжатии. Исследования проводили в климатической криокамере WT-360 при температуре (-20°С). Испытание 6 образцов каждого утеплителя площадью 100 см² с фактической влажностью 3,5% проводили, экспонируя в течение 12 часов при температуре (-20°С), и

последующее выдерживание при комнатной температуре в течение 12 часов. Цикл замораживания-оттаивания повторяли 10 раз. Результаты исследований показали (рисунок 4.9), что устойчивость к деформации сжатия снижается.

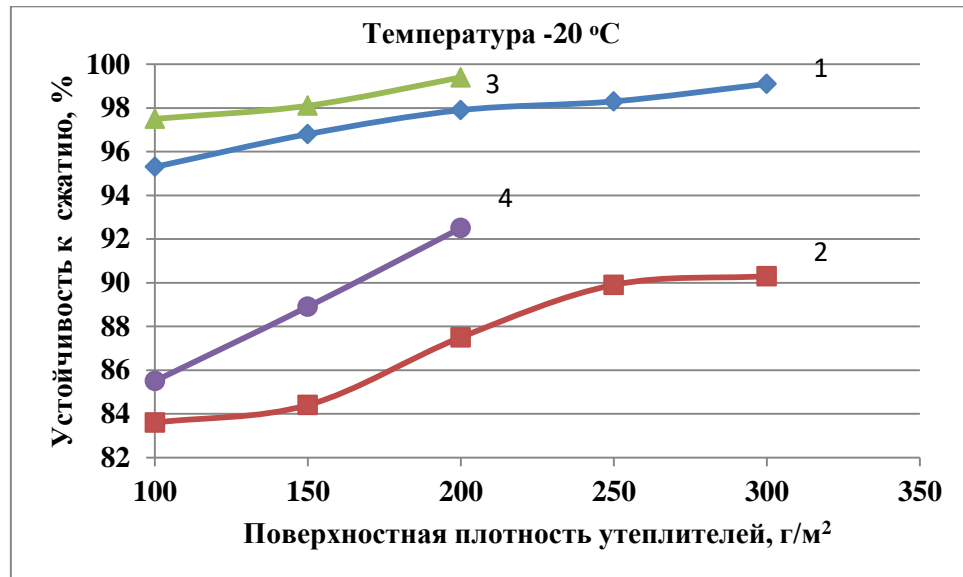


Рисунок 4.9 - Влияние поверхностной плотности утеплителей одежды - 1, 2 - Холлофайбер СОФТ 5198 и 3, 4 - Термофин 200, на устойчивость к деформациям сжатия: 1, 3 - однократного и 2, 4 многократного сжатия. (Температура $-20 \pm 2^\circ\text{C}$)

Утеплитель Холлофайбер СОФТ 5198 после многократного замораживания-оттаивания теряет устойчивость к многократным деформациям сжатия до 10%, а утеплитель Термофин 200 до 7,5%. При этом оба утеплителя в этих экстремальных условиях отвечают требованиям ГОСТ 57027-2016. Устойчивость к многократному сжатию нетканых объемных утеплителей Холлофайбер и Термофин превышает минимально допустимое значение показателя, не менее 70%.

В процессе эксплуатации одежды утеплитель подвергается воздействию влаги, как капиллярной влаги пододежного пространства, так и влаги атмосферных осадков. Поэтому в работе исследовали влияние влаги на устойчивость утеплителей к деформациям сжатия и на теплозащитные свойства. Согласно ГОСТ 57027-2016 изменение линейных размеров после замочки или химической чистки должно быть не более 2,5%.

Испытания проводили по ГОСТ 30157.1-95 [115], подвергая образцы ручной стирке при температуре раствора 40°C, модуле ванны 1:30 в течение 10 мин, полосканием и последующим отжимом между слоями хлопчатобумажной ткани и глажением при температуре 130°C.

Результаты исследований показали (рисунок 4.10), что однократная мокрая обработка не оказывает влияния на толщину утеплителя, однако с увеличением количества стирок до 20, упругость нетканого утеплителя снижается, и толщина утеплителей уменьшается на 1,8-2,2%, что допустимо нормативными требованиями ГОСТ 57027-2016. Снижение упругости полотен при сжатии вероятно, обусловлено уменьшением сил трения и скольжения между волокнами во влажном состоянии, что приводит к снижению сил сцепления и связей между структурными элементами и более легкому их перемещению относительно друг друга в процессе глажения, и последующему формированию новых сил сцепления в новом деформированном положении.

Изменение толщины утеплителей под действием мокрых обработок на 1,8-2,2% приводит к снижению теплового сопротивления и теплозащитных свойств на 4-8% (рисунок 4.11).

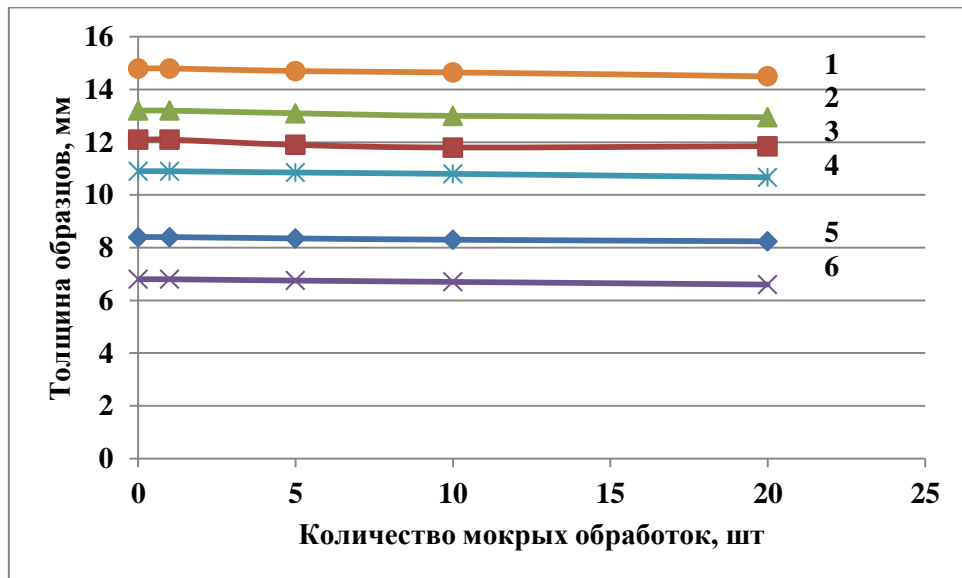


Рисунок 4.10 - Влияние количества стирок на снижение толщины образцов нетканых утеплителей одежды: 1- Termofinn 200; 2 - Холлофайбер СОФТ Р 5198; 3- Холлофайбер ПРОФИ Р 35197; 4 - Термофин Plus; 5 - Холлофайбер СОФТ ПРИМ Z Р 8391; 6 - Termofinn 100

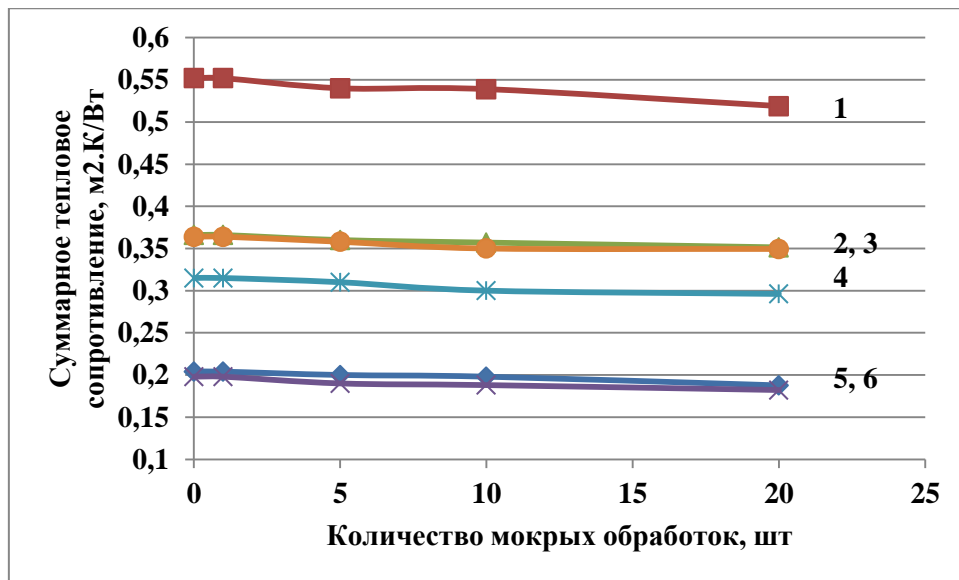


Рисунок 4.11 - Влияние количества стирок на суммарное тепловое сопротивление образцов нетканых утеплителей одежды: 1- Холлофайбер ПРОФИ Р 35197; 2 – Холлофайбер СОФТ Р 5198; 3-Термофинн 200; 4 - Термофинн Plus; 5 - Холлофайбер СОФТ ПРИМ Z Р 8391; 6 - Термофинн 100

Отмечено, что с увеличением поверхностной плотности от 100 до 200 г/м², устойчивость утеплителей одежды к мокрым обработкам на 20-30% выше, по сравнению с более легкими полотнами, следовательно, и теплозащитные свойства сохраняются в большей степени.

Таким образом, в результате проведенных исследований установлена взаимосвязь структуры и свойств утеплителей. С увеличением поверхностной плотности теплопроводность полотен снижается, толщина и пористость увеличивается, за счет чего повышаются теплозащитные свойства утеплителей, что позволяет использовать утеплители как в один, так и в два слоя. Получены справочные данные теплофизических и прочностных свойств нетканых утеплителей позволяют обоснованно формировать пакеты материалов для утепленной одежды.

Получена функциональная зависимость теплового сопротивления от основных параметров структуры и свойств утепляющих объемных нетканых материалов, которая позволяет прогнозировать теплозащитные свойства утеплителей на стадии их проектирования и конфекционирования в пакет

одежды, а также прогнозировать изменение теплозащитной функции одежды в процессе ее эксплуатации и снижения показателей качества материалов.

Установлено, что многократное замораживание при (-20) °С и оттаивание при комнатной температуре, утеплитель Холлофайбер СОФТ 5198 теряет устойчивость к многократным деформациям сжатия до 10%, а утеплитель Термофин 200 до 7,5%. Однако оба утеплителя отвечают требованиям ГОСТ 57027-2016.

Установлено, что однократная мокрая обработка не оказывает влияния на толщину утеплителя, однако с увеличением количества стирок до 20, упругость нетканого утеплителя снижается, и толщина утеплителей уменьшается на 1,8-2,2%, что приводит к снижению теплового сопротивления и теплозащитных свойств на 4-8%.

Выводы по главе 4

1. Выявлены закономерности формирования структуры и разработан ЭОКТМ, сформированный из электропроводящей углеродной нити, уложенной на текстильную основу «синусоидально» с расстоянием между рядами 30 мм и сопротивлением 1,5-1,9 Ом, который обеспечивает равномерный нагрев поверхности материала до температуры 28-40°С и подвод тепла в пододежное пространство от 80 до 120 кДж. Разработан способ производства терморегулируемых текстильных материалов и наработана опытная партия ЭОКТМ, исследованы свойства и определены области их применения.

2. Установлена взаимосвязь структуры и свойств нетканых объемных утеплителей, а именно: с увеличением поверхностной плотности теплопроводность полотен снижается, толщина и пористость увеличивается, за счет чего повышаются теплозащитные свойства утеплителей, что позволяет использовать утеплители как в один, так и в два слоя. Полученные справочные данные теплофизических и прочностных свойств нетканых утеплителей позволяют обоснованно формировать пакеты материалов для утепленной одежды.

3. Установлена функциональная зависимость теплового сопротивления от основных параметров структуры и свойств утепляющих объемных нетканых материалов вида:

$R = \frac{T \cdot \rho \cdot S \cdot \delta}{M_s^2 \lambda}$, м²·К/Вт, где R - тепловое сопротивление, м²·К/Вт;

ρ - объемная плотность, г/м³; λ - теплопроводность волокон Вт/(м·К); M_s - поверхностная плотность, г/м²; T - линейная плотность нитей, г/м³; S - площадь пробы, м²; δ - толщина материала, м, которая, с 3% отклонением, позволяет прогнозировать теплозащитные свойства утеплителей на стадии их проектирования и конфекционирования в пакет одежды, а также прогнозировать изменение теплозащитной функции одежды в процессе ее эксплуатации и снижения показателей качества материалов.

4. Доказано, что исследуемые утеплители характеризуются высокой устойчивостью к деформациям многократного сжатия 94%, а после многократного криолиза при температуре (-20) °С устойчивость к деформациям многократного сжатия снижается на 7,5-10%, что гарантирует сохранение теплозащитных свойств в процессе эксплуатации изделий. Отмечено, что при свободном сжатии наблюдается увеличение площади опорной поверхности за счет уменьшения пористости и изменения формы структурных элементов материала, изгиба нитей при сжатии.

5. Установлено, что многократные мокрые обработки на 1,8-2,2% снижают упругость нетканых утеплителей при сжатии, что приводит к снижению теплового сопротивления и теплозащитных свойств на 4-8%. При этом, чем больше поверхностная плотность утеплителей, тем устойчивость к мокрым обработкам выше, и теплозащитные свойства сохраняются в большей степени.

Глава 5 РАЗРАБОТКА СТРУКТУРЫ И ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ПАКЕТОВ МАТЕРИАЛОВ ТЕРМОРЕГУЛИРУЕМОЙ УТЕПЛЕННОЙ ОДЕЖДЫ

5.1 Разработка структуры и исследование свойств пакетов материалов терморегулируемой утепленной одежды для людей с ограниченными возможностями движения

Формирование без барьерной среды для людей с ограниченными возможностями движения (ЛОВД) - является стратегической задачей Российской Федерации. Комплексное решение проблемы адаптации, реабилитации и социальной защиты позволит ЛОВД принять активное участие в общественной жизни государства и встать на один уровень со здоровыми людьми, а значит, быть полноценными членами современного общества [181, 182].

Известно, что люди с ограниченными возможностями движения в большей степени подвержены риску перегрева в жаркую погоду и обморожения в холодное время года [183]. Повышенные требования к параметрам окружающей среды формируют так называемые термальные физиологические ограничения (ТФО), которые отражены в стандарте ГОСТ Р 53453-2009 [184]. Особенности здоровья ЛОВД негативным образом влияют на качество их жизни, в значительной степени ограничивают самостоятельность и мобильность, тем самым повышая необходимость в постоянной сторонней заботе и уходе. Роль адаптационной одежды состоит в формировании реабилитационного эффекта, повышении безопасности, комфорта и самостоятельности, в том числе при выполнении передвижений по улице. В этом смысле создание надежной и комфортной одежды является определяющим. У людей пожилого возраста, и с ограниченными возможностями передвижения, наблюдается ослабление и потеря чувствительности к температуре, ухудшение перспирации, ухудшение периферического вазомоторного контроля, способность таких людей к адаптации, как в холодной, так и в горячей среде затруднительны. Люди с физическими

ограничениями, использующие технические вспомогательные средства, например, инвалиды-колясочники, обычно имеют низкую скорость обмена веществ из-за низкого уровня активности. И наоборот, некоторым категориям людей (например, страдающим атетозным церебральным параличом) требуется большее количество энергии для выполнения поставленных задач, следовательно, из-за необходимости прилагать большие усилия у них возникает повышенная скорость обмена веществ. Пожилые люди часто менее активны и имеют более низкую скорость обмена веществ, чем у среднего взрослого человека. Проведенный опрос среди инвалидов-колясочников, позволил выявить их потребность в защитной утепленной термообогреваемой одежде, которая позволит им совершать прогулки не только в теплое время года, но и при минусовых температурах. Всё вышеперечисленное диктует необходимость создания инновационных терморегулируемых изделий, которые позволят пользователю управлять температурным комфортом в разных условиях эксплуатации изделий, как на улице, так и в помещении. Решение данной проблемы предлагается осуществить применением разработанного ЭОКТМ.

Вопросам проектирования специальной одежды для ЛОВД с учетом заболевания посвящены труды российских ученых: Волковой В.М., Савченковой И.Е., Голубчиковой А. В., Харловой О.Н., Андреевой Е.Г., Панферовой Е. Г., Козловой Е.В., Плешковой О.М. и других [183, 185-193].

За рубежом вопросом изготовления и реализацией адаптивной одежды для ЛОВД и людей пожилого возраста посредством Интернет-магазинов занимаются специалисты из Канады, США, Финляндии и Японии [194-200]. Лидирующие позиции занимают компании «Silvert's» [195], фирмы «BUCK & BUCK» [196], Easy Access Clothing [197], Professional fit Clothing [198], AdaptiveApparel [199] и Izzy Camilleri [200].

Большой интерес к проблеме разработки адаптивной одежды для ЛОВД и людей пожилого возраста, обеспечивающей им комфорт и мобильность подчеркивает актуальность проблемы. Поэтому дальнейшие исследования в работе были направлены на разработку структуры и исследование свойств пакета

материалов утепленной одежды с терморегулируемыми свойствами, за счет применения ЭОКТМ.

Анализ моделей теплозащитных мешков для ног показал, что подавляющее большинство составляют модели, произведенные из искусственного водонепроницаемого материала верха с использованием подкладки, как из натуральных тканей (смесовых шерстяных материалов), так и искусственных тканей и меха. В некоторых моделях в качестве дополнительного утеплителя используется синтепон различной толщины. В качестве застежки используют как разъемную, так и неразъемную тесьму-молнию [183, 201-204].

В работе подбор материалов в пакет термообогреваемого чехла (ТОЧ) для ЛОВД выполнялся с учетом требований ГОСТ Р 53453-2009 [184, 205, 206], а именно двух основных требований: во-первых, ТОЧ должен обеспечивать тепловой комфорт, отвод тепла от нагревателя в окружающую среду должен быть минимальным, температура пододежного пространства должна быть стабильной и комфортной; во-вторых, ТОЧ в готовом виде должен соответствовать эксплуатационным и эргономическим требованиям стандарта, в том числе обеспечивать защиту от осадков и ветра, быть прочным и удобным в эксплуатации.

В связи с этим, для формирования структуры пакетов материалов ТОЧ в качестве внешнего слоя использовали инновационную мембранную ткань арт. С 911М с водоотталкивающей пропиткой, устойчивую к загрязнениям, с низкой воздухопроницаемостью, хорошей паропроницаемостью и малой массой. Высокая водоупорность и водонепроницаемость мембранной ткани защитит внутренние слои и прежде всего ЭОКТМ от влаги. В качестве утепляющего слоя использовали нетканый объемный утеплитель -«Холлофайбер» СОФТ ПРИМ Z Р 8391 и Холлофайбер СОФТ Р 5198 поверхностной плотности 100 и 200 г/м², соответственно. В качестве подкладочного слоя - трикотажное полотно поларфлис поверхностной плотности 300 г/м² (Китай) с двухсторонним ворсом из 100% полых полиэфирных волокон, что придает ему хорошие теплозащитные и сорбционные свойства. В качестве терморегулируемого обогревающего слоя

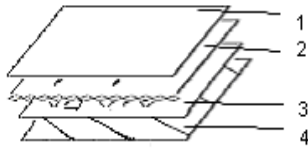
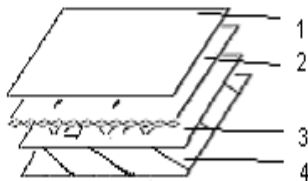
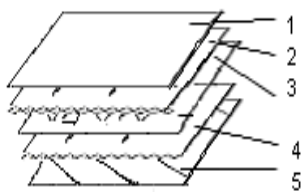
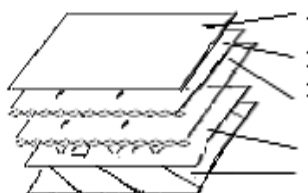
использовали разработанный ЭОКТМ, аккумулятор которого имеет три режима обогрева: режим I - нагревает поверхность ЭОКТМ до 25,5-26,0°C, и предназначен для использования в процессе работы и больших физических нагрузок; режим II - нагревает поверхность ЭОКТМ до 33,5-34°C, и рекомендуется использовать при нахождении человека в статике или малоподвижном состоянии; режим III - нагревает поверхность ЭОКТМ до 39,5-40°C, и рекомендуется применять в суровых климатических зонах 4 (1Б регион) и особой (1А регион) со средней температурой воздуха в зимние месяцы - 25-41°C.

В разработанных пакетах материалов (таблица 5.1), терморегулируемый материал располагали между подкладочным слоем и утеплителем (пакеты №1 и 2), между двумя слоями утеплителя (пакет №3) и между подкладочным и двумя слоями утепляющего материала (пакет №4).

Результаты исследований показали, что при выключенном обогревающим ЭОТКМ, теплозащитные свойства пакетов материалов определяются их толщиной. Образец №1 и №2 с одним слоем утеплителя Холлофайбер СОФТ ПРИМ Z P 8391 массой 100 г/м² и Холлофайбер СОФТ P 5198 массой 200 г/м² не обеспечивают требуемой теплозащиты зимней одежды, суммарное тепловое сопротивление поясных изделий должно быть не меньше 0,50 м²·К/Вт (ГОСТ 12.4.303-2016), поэтому пакеты материалов №1 и №2 могут рекомендоваться только для демисезонной верхней одежды. Образцы №3 и №4, состоящие из двух слоев утеплителя Холлофайбер массой 200 и 100 г/м² по показателю суммарного теплового сопротивления могут эксплуатироваться в условиях 3 климатического пояса ($R_{\text{сум}}$ допустимо от 0,57 до 0,799 м²·К/Вт).

Исследования теплозащитных свойств пакетов материалов с включенным ЭОТКМ, проводили по аналогии с методикой, разработанной Жихаревым А.П. и Бессоновой Н.Г. и описанной в работе [207]. Для этого, из разработанных пакетов одежды с ЭОКТМ (таблица 5.1), изготовили специальной формы образцы. Каждому пакету материалов придавали цилиндрическую форму и фиксировали ее ниточным соединением машинной строчки. При этом предварительно на верхний срез мембранной ткани настрачивали кулису с вложением эластичного шнура.

Таблица 5.1 Структура и свойства пакета материалов

№пакета	Состав слоев пакета материалов	M_s , г/м ²	δ , мм	λ , Вт/(м·К)	$R_{сум}$, м ² ·К/Вт
Пакет №1 	1- Мембранная ткань арт. С 911М	150	13,5	0,0409	0,341
	2 - Холлофайбер СОФТ ПРИМ ZP 8391	100			
	3 - Обогревающий материал ЭОКТМ	180			
	4 - Подкладка - поларфлис	300			
Пакет №2 	1- Мембранная ткань арт. С 911М	150	17,4	0,0369	0,484
	2 Холлофайбер СОФТ Р 5198	200			
	3 - Обогревающий материал ЭОКТМ	180			
	4 - Подкладка - поларфлис	300			
Пакет №3 	1 -Мембранная ткань арт. С 911М	150	24,3	0,0321	0,771
	2 Холлофайбер СОФТ Р 5198	200			
	3 - Обогревающий материал ЭОКТМ	180			
	4 - Холлофайбер СОФТ ПРИМ ZP 8391	100			
	5 - Подкладка - поларфлис	300			
Пакет №4 	1 - Мембранная ткань арт. С 911М	150	24,0	0,0319	0,778
	2 Холлофайбер СОФТ Р 5198	200			
	3 - Холлофайбер СОФТ ПРИМ ZP 8391	100			
	4 - Обогревающий материал ЭОКТМ	180			
	5 - Подкладка - поларфлис	300			

Примечания: M_s - поверхностная плотность, δ - толщина, λ - теплопроводность, $R_{сум}$ - суммарное тепловое сопротивление.

Затем стачивали нижний срез пакета материалов, так чтобы не повредить углеродную термообогревающую нить, предварительно вкладывая между слоями пакетов материалов датчики температуры на одном уровне по схеме (рисунок 5.1), для исследования процесса охлаждения имитатора тела человека - сосуда с водой.

В подготовленные таким образом образцы пакетов материалов помещали емкость 0,5 л с водой, нагретой до $36,5 \pm 0,5^\circ\text{C}$, имитируя, таким образом, модель тела человека, одетого в зимнюю одежду. Вода в сосуде поддерживается постоянной за счет подогрева встроенным нагревателем с датчиком и реле температуры. ЭОКТМ собранной системы материалов присоединяли к аккумулятору. Между поверхностью сосуда и пакетом материалов образуется воздушная прослойка не более 3 мм. Датчики температуры, также располагали на подкладке со стороны сосуда и на мембранной ткани с внешней стороны пакета одежды. Схема расположения датчиков температуры при испытании представлена на (рисунке 5.1).

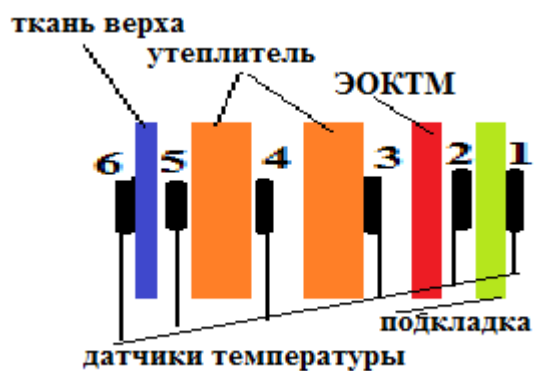


Рисунок 5.1 - Схема расположения датчиков температуры в пакете материалов

Датчики температуры передают данные на компьютер и записываются в программе Excel. Затем включаем аккумуляторную батарею на режим II и нагреваем ЭОКТМ до постоянной температуры $34 \pm 0,5^\circ\text{C}$, о чем свидетельствовали показания датчиков 2 и 3. Подготовленные образцы моделей-имитаторов помещали в климатическую криокамеру WT-360, охлажденную до температуры -10 или -20°C (средняя климатическая температура зимой территории Черноморского побережья Кавказа и умеренного пояса, соответственно).

Сравнительную оценку теплоизолирующей способности разработанных пакетов материалов определяли по темпу охлаждения поверхности сосуда с водой, который оценивали по показаниям датчиков (рисунок 5.2-5.5).

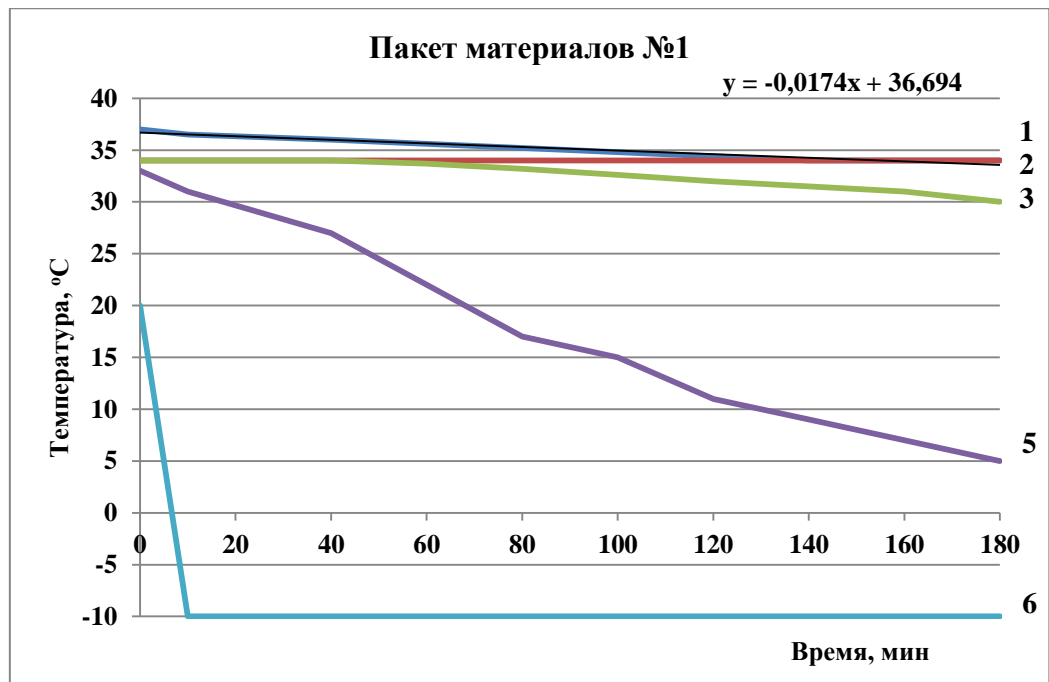


Рисунок 5.2 Динамика изменения температуры в структуре пакета материалов №1 с включенным ЭОКТМ при температуре окружающей среды (-10 °С): 1,2,3,5,6 - датчики температуры по слоям пакета материалов

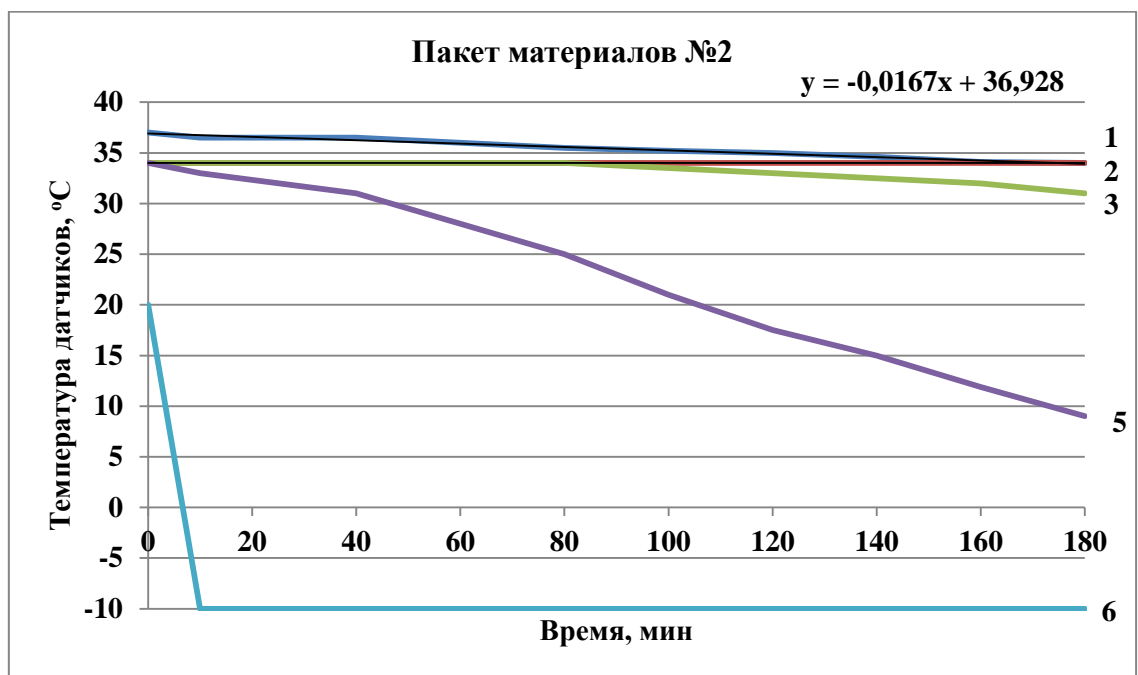


Рисунок 5.3 Динамика изменения температуры в структуре пакета материалов №2 с включенным ЭОКТМ при температуре окружающей среды (-10 °С): 1,2,3,5,6 - датчики температуры по слоям пакета материалов

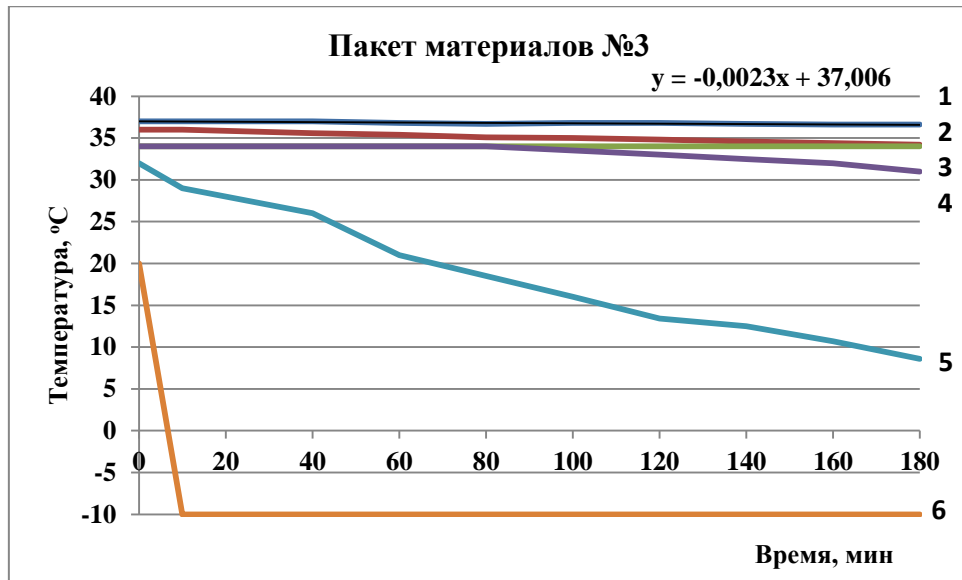


Рисунок 5.4 Динамика изменения температуры в структуре пакета материалов №3 с включенным ЭОКТМ при температуре окружающей среды (-10°C). Датчики температуры: 1- пододежного пространства; 2 - между подкладкой и утеплителем 100 г/м^2 ; 3 - утеплителем 100 г/м^2 и ЭОКТМ; 4 - ЭОКТМ и утеплителем 200 г/м^2 ; 5 - утеплителем 200 г/м^2 и мембранной тканью, верха; 6 – температура в камере

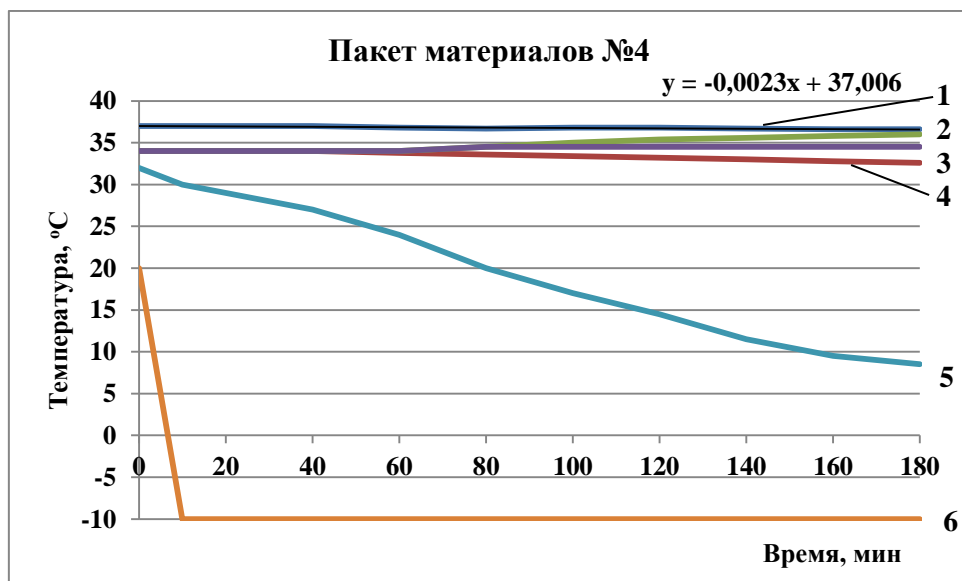


Рисунок 5.5 Динамика изменения температуры в структуре пакета материалов №4 с включенным ЭОКТМ при температуре окружающей среды (-10°C): Датчики температуры: 1- пододежного пространства; 2 - между подкладкой и ЭОКТМ; 3 - ЭОКТМ и утеплителем 100 г/м^2 ; 4 - утеплитель 100 и утеплителем 200 г/м^2 ; 5 - утеплителем 200 и мембранной тканью, верха; 6 - температура в камере

Результаты исследований показали, что при температуре в криокамере (-10) °С процесс охлаждения имитатора тела человека, одетого в пакет материалов №1 и №2 с одним слоем утеплителя и нагревом ЭОКТМ до 34°С, происходит с одинаковым темпом и через 180 мин температура пододежного пространства снижается до температуры нагрева ЭОКТМ (34°С), как для пакета №1 с утеплителем массой 100 г/м², так и для пакета №2 с утеплителем массой 200 г/м² (рисунок 5.2 и 5.3). Это позволяет сделать заключение о возможности применения утеплителя в 1 слой для зимней теплозащитной одежды, при условии использования терморегулируемого обогревающего полотна ЭОКТМ.

Полученная линейная зависимость температуры пододежного пространства ($T_{\text{пн}}$) описывается уравнением вида:

$$T_{\text{пн}} = -0,0167 \cdot \tau + T_0,$$

которое позволяет прогнозировать изменение начальной температуры (T_0 , °С) пододежного пространства и теплозащитные свойства одежды при более длительном пребывании (τ , мин) в условиях температуры (-10)°С.

Отмечено, что ЭОКТМ обеспечивает достаточно равномерное распределение температуры по обе стороны, как в сторону подкладки, так и в сторону утеплителя. При этом в течение 40 минут утеплитель Холлофайбер СОФТ ПРИМ Z P 8391 (датчик 3, пакет №1) и в течение 100 минут утеплитель Холлофайбер СОФТ P 5198 (пакет №2) стабильно поддерживают температуру на уровне температуры обогревателя. В дальнейшем температура постепенно снижается лишь на 3-4 градуса, даже не смотря на высокую теплопроводность мембранной ткани (датчик температуры №5).

Охлаждение имитатора тела человека, одетого в пакеты материалов №3 и №4 с двойным слоем утеплителя и нагревом ЭОКТМ до 34°С, при температуре в криокамере (-10°С) практически не происходит и остается на уровне 37-36,5°С. Утеплитель в два слоя не зависимо от расположения ЭОКТМ в структуре пакетов №3 и №4, более стабильно поддерживают температуру пододежного пространства (рисунок 5.4 и 5.5).

Однако при этом увеличивается масса пакетов одежды, что не желательно для людей с ограниченными возможностями движения. Поэтому выбор состава

пакетов материалов, прежде всего, зависит от условий эксплуатации - температуры и скорости ветра. Как известно скорость ветра существенно снижает теплозащитные свойства [18, 19, 208, 209].

Снижение температуры в криокамере до (-20°C) влияет на темп охлаждения слоев пакета материалов №4 с двойным слоем утеплителя и нагревом ЭОКТМ до 34°C (рисунок 5.6). Температура имитатора тела человека одетого в пакет №4, за счет постоянства температуры нагрева ЭОКТМ, изменяется не существенно, в пределах 3-4 градусов. Однако температура наружных слоев снижается прямолинейно от времени экспонирования, и температура наружной поверхности утеплителя, контактирующего с мембранной тканью, приближается к нулю (0°C).

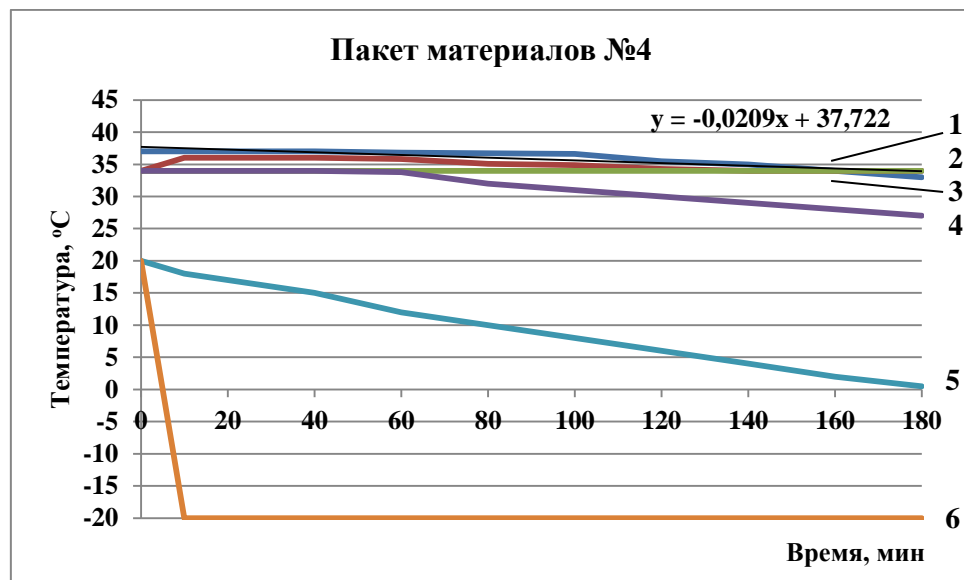


Рисунок 5.6 Динамика изменения температуры в структуре пакета материалов №4 с включенным ЭОКТМ при температуре окружающей среды (-20°C): Датчики температуры: 1- пододежного пространства; 2 - между подкладкой и ЭОКТМ; 3 - ЭОКТМ и утеплителем 100 г/м²; 4 - утеплитель 100 и утеплителем 200 г/м²; 5 - утеплителем 200 и мембранной тканью, верх; 6 - температура в камере

Учитывая, что мембранная ткань обладает низкой воздухопроницаемостью 1-5 дм³/м²с, то в условиях низких температур и ветреной погоды разработанный терморегулируемый материал ЭОКТМ обеспечит температурный комфорт пододежного пространства изделий из разработанных пакетов одежды.

Возможность варьирования температурой нагрева ЭОКТМ от 25,5 до 40°C, и регулируемое включение/отключение нагрева, позволят управлять комфортом пододежного пространства с учетом климатических условий, физической нагрузки и особенностей физиологии пользователя.

Таким образом, доказана высокая эффективность ЭОКТМ в создании теплозащитной одежды с регулируемым тепловым эффектом. Температура в пододежном пространстве пакетов с утеплителями массой 200 г/м², поддерживается постоянной в течение 3 часов на уровне нагрева ЭОКТМ, задаваемого пользователем, как при температуре внешней среды (-10), так и (-20) °С. Пакеты материалов с одним слоем утеплителя массой 100 г/м² и ЭОКТМ обеспечивают постоянный тепловой комфорт в течение 2-2,5 часов при температуре внешней среды до (-10) °С.

Мембранная воздухо-, водонепроницаемая ткань защитит от осадков и ветра, а возможность управления температурой нагрева ЭОКТМ от 25,5 до 40°C, позволит управлять комфортом пододежного пространства с учетом климатических условий, физической нагрузки и особенностей физиологии пользователя. Это позволяет рекомендовать разработанные пакеты материалов как для людей с ограниченными возможностями движения, так и для изготовления спецодежды МЧС, нефтяников и других профессий, а также бытовой одежды для эксплуатации в суровых условиях Крайнего Севера, Заполярья и Сибири.

5.2 Исследование комфорта пододежного пространства при эксплуатации термообогреваемого чехла для прогулок инвалидов колясочников

На основании анализа данных о теплозащитных изделиях для инвалидов колясочников был разработан и изготовлен термообогреваемый чехол (ТОЧ) из пакета материалов структуры №2 (таблица 5.1). В качестве терморегулируемого обогревающего материала использовали разработанный и полученный в

производственных условиях предприятия ООО «КВН СЕРВИС» ЭОКТМ, состоящий из ткани арт.210, УН-205, флизелин клеевой G405 (образец №1), характеристики свойств которого представлены в (таблице 4.6). Внешний вид и конструктивные особенности термообогреваемого чехла представлены и описаны в (приложении 3).

При разработке конструкции изделия руководствовались «Единая методика конструирования одежды, изготавливаемой по индивидуальным заказам населения на фигуры различных типов телосложения. Ч. 2.: Основы конструирования поясных изделий», ТУ 9396-032-53279025-2003 «Одежда специальная для инвалидов», а также с учетом опыта проектирования специальной одежды для ЛОВД, изложенными в работах ученых: Черуновой И.В., Холостовой В.В., Родичевой М.В., Приходченко О.В., Яреевой Е.В., Савельевой Н.Ю. и других ученых в области проектирования одежды [158, 189, 190, 191, 192, 193, 210-221].

Конструкция термообогреваемого чехла выполнена таким образом, чтобы оно удобно было при эксплуатации, и не вызывало затруднений при его одевание на верхнюю одежду пользователя, и последующем снятие. Внешний вид готового изделия представлен на (рисунке 5.7).



Рисунок 5.7 - Внешний вид изделия ТОЧ

Реакции ЛОВД на воздействия пониженных температур отличаются от обычных людей и описываются в ГОСТ Р 53453-2009 «Эргономика термальной среды. Применение требований стандартов к людям с особыми требованиями». Несоблюдение этих ограничений может спровоцировать осложнение физиологических ограничений, вызванных инвалидностью. Температурный комфорт - это состояние удовлетворения температурой и влажностью пододежного пространства.

Недовольство может быть вызвано дискомфортом от тепла или холода, воздействующего на все тело или одну из его частей. Из-за индивидуальных особенностей организма, а также характера и особенностей заболеваний, количества и качества одежды, возраста респондентов и других факторов, невозможно установить термальную среду, которая удовлетворяла бы всех. Всегда имеется процент недовольных. Однако можно установить параметры среды, приемлемой для большинства людей.

Поэтому в работе исследовали влияние внешней среды на микроклимат и ощущение комфорта пользователя при эксплуатации ТОЧ. С помощью прибора Темп-3.3 и датчиков теплового потока, температуры и влажности, исследовали комфорт пододежного пространства, при пребывании респондентов в инвалидной коляске и ТОЧ, с нагревом ЭОКТМ до 34°C, в разных климатических условиях внешней среды. Респондентами исследования согласились быть три человека, которые пользуются инвалидными колясками. Исследования проводили в три приема, осенью 10.11.2019 года и зимой 15.12.2019 и 12.01.2020 года. В эти дни три респондента поочередно, по 2 часа каждый, проводили исследования, используя один и тот же ТОЧ, для чистоты эксперимента. Первый респондент проводил испытание ТОЧ с 11 до 13 часов, второй - 13.30-15.30 часов, третий - 16.00-18.00 часов. Датчики теплового потока, температуры и влажности располагали всегда в трех точках: 1 - в области пальцев ног, фиксируя под носком; 2 - в области поясницы на нательном белье; 3 - в области лопаток на нательном белье. Исследование проводили при трех температурах погодных условий.

Первое условие - при температуре внешней среды 0°C , атмосферном давлении 755 мм.рт.ст., влажности воздуха 59%, скорости ветра - 6,5 м/с. Пакет одежды состоял: футболка из хлопка, на которую фиксировали датчики температуры и влажности; свитер шерстяной, утепленная куртка с нетканым объемным утеплителем типа Холлофайбер и капюшоном. На ногах хлопчатобумажный носок и демисезонные ботинки. Нагрев ЭОКТМ установлен до $34\pm 1^{\circ}\text{C}$.

Второе исследование проводили при температуре $(-5\pm 1,5)^{\circ}\text{C}$, атмосферном давлении 762 мм.рт.ст., влажности воздуха 48%, скорости ветра 5,3 м/с.

Третье условие испытаний - при температуре $(-10\pm 2)^{\circ}\text{C}$, атмосферном давлении 768 мм.рт.ст., влажности воздуха 52%, скорости ветра - 4,5 м/с.

Пакет одежды по второму и третьему температурному режиму состоял: футболка из хлопка, свитер шерстяной, пуховик с пухо-перовым утеплителем (согласно маркировки на ярлыке) и капюшоном, длиной ниже колен. На ногах хлопчатобумажный и шерстяной носок и зимние сапоги.

Результаты исследований показали (рисунок 5.8), что в течение 2 часов пребывания в обогреваемом ТОЧ при температуре окружающего воздуха $0\pm 1^{\circ}\text{C}$ и скорости ветра 6,5 м/с, температура пальцев ног снижается с $32,3$ до $31,7^{\circ}\text{C}$. При этом влажность среды в области пальцев ног варьировала в интервале 55-62%. Ухудшение погодных условий и снижение температуры до $(-5\pm 1,5)^{\circ}\text{C}$ при скорости ветра 5,3 м/с, температура пальцев ног за 2 часа прогулки снижается с 31 до $29,8^{\circ}\text{C}$ (рисунок 5.8 кр. 2). Снижение температуры окружающего воздуха до $(-10\pm 2)^{\circ}\text{C}$ и при скорости ветра 4,5 м/с, температура пальцев ног снижается с 30 до $28,5^{\circ}\text{C}$, то есть на 1,5 градуса от первоначальной температуры (рисунок 5.8 кр. 3). При этом влажность среды в области пальцев ног варьировала в интервале 45-51%. Температура кожи пальцев ног считается комфортной, если она не опускается ниже 27°C [3, 195, 199, 222-224].

Следовательно, можно утверждать, что ТОЧ поддерживает достаточно стабильную температуру в пододежном пространстве и обеспечивает комфорт.

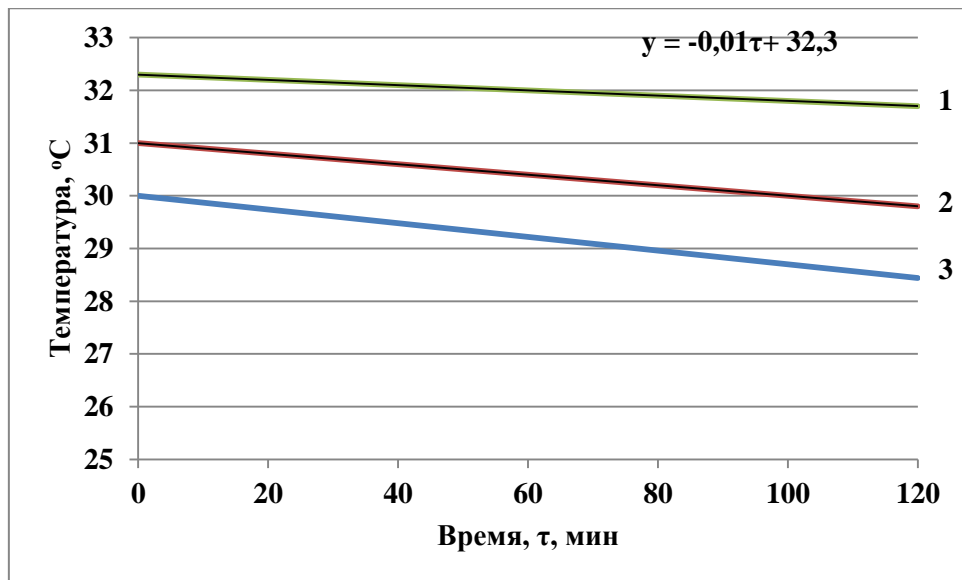


Рисунок 5.8 - Изменение во времени температуры пальцев ног в ТОЧ, при температуре внешней среды, °C: 1 - 0 ± 1 ; 2 - $(-5 \pm 1,5)$; 3 - (-10 ± 2)

Полученная зависимость снижения температуры от времени пребывания на открытом воздухе, описывается уравнением вида:

$$T_{кр} = -0,01 \tau + T_{исх}$$

где $T_{кр}$ – критическая температура охлаждения тела человека, °C; τ – время прогулки в данных условиях, мин.; $T_{исх}$ – исходная (до прогулки) температура пальцев ног.

Учитывая, что во время прогулок в холодную погоду, первыми замерзают пальцы ног, то полученная зависимость снижения температуры от времени пребывания на открытом воздухе, позволяет прогнозировать продолжительность прогулки в ТОЧ на коляске.

Показания датчиков температуры, установленных на нательном белье респондентов в области поясницы, имеют несколько иную зависимость температуры от времени пребывания в условиях осенне-зимнего времени года в ТОЧ (рисунок 5.9). При температуре окружающего воздуха 0°C , атмосферном давлении 755 мм.рт.ст., влажности воздуха 59% и скорости ветра - 6,5 м/с, температура пододежного пространства незначительно, на 1-2 градуса, возрастает, и на протяжении 120 минут поддерживается на уровне $33-35^\circ\text{C}$. Влажность пододежного пространства колеблется в пределах 43-50%.

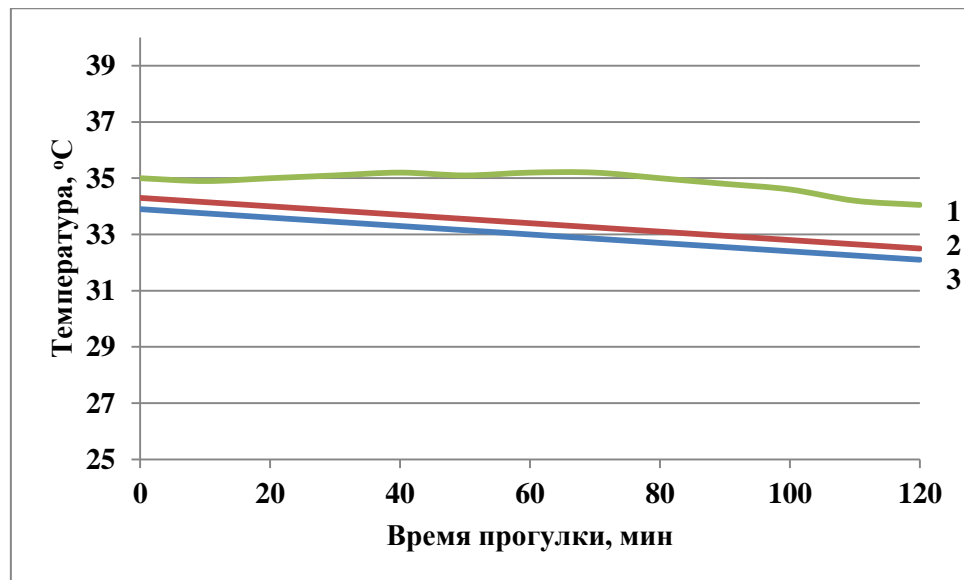


Рисунок 5.9 - Изменение температуры пододежного пространства в области поясницы в обогреваемом ТОЧ с течением времени при температуре внешней среды, °C: 1 - 0 ± 1 ; 2 - $(-5\pm 1,5)$; 3 - (-10 ± 2) .

Снижение температуры окружающего воздуха до (-5) и (-10) °C при скорости ветра в пределах 5,3-4,5 м/с не оказывает существенного влияния на комфорт пододежного пространства. Температура пододежного пространства в области поясницы не опускается ниже $32,3^{\circ}\text{C}$, в то время как дискомфортные ощущения наступают при температуре ниже 31°C .

Таким образом, ТОЧ обеспечивает комфорт пододежного пространства и поддерживает температуру пододежного пространства в области поясницы практически на постоянном уровне, колебания температуры в пределах 1-2 градуса.

Показания датчиков температуры, установленных на нательном белье респондентов в области лопаток, где ТОЧ на спинке в отлетном положении и возможность контакта с низкой температурой окружающей среды увеличивается, показывают несколько иную зависимость температуры от времени пребывания в условиях осенне-зимнего времени года в ТОЧ. Результаты исследований показали (рисунок 5.10), что в течение 2 часов пребывания в ТОЧ при температуре окружающего воздуха $0\pm 1^{\circ}\text{C}$ и скорости ветра - 6,5 м/с, температура пододежного пространства в области лопаток спины снижается с 34,8 до $33,6^{\circ}\text{C}$. Это говорит о

том, что ТОЧ в таких погодных условиях обеспечивает термальный комфорт во время прогулки. Влажность пододежного пространства находилась в пределах 50-53%.

ТОЧ в течение 2 часов прогулки на свежем воздухе при скорости ветра - 5,3 м/с и температуре $(-5\pm 1,5)$ °С, также обеспечивает тепловой комфорт. Температура пододежного пространства в области лопаток снижается с 34 до 32,4°С, влажность находилась в пределах 49-53%.

При снижении температуры воздуха до (-10 ± 2) °С, при скорости ветра 4,5 м/с, температура пододежного пространства снижается до 31,2°С, что обеспечивает термальный комфорт респондентов.

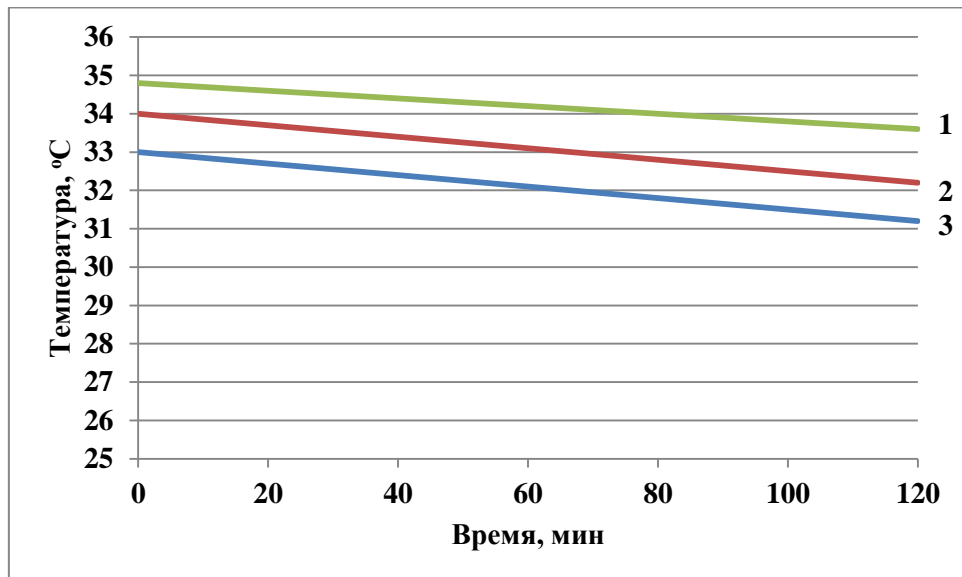


Рисунок 5.10- Изменение во времени температуры пододежного пространства в области лопаток, в обогреваемом ТОЧ. Температура внешней среды, °С: 1 - 0 ± 1 ; 2 - $(-5\pm 1,5)$; 3 - (-10 ± 2) .

Респонденты отказались проводить испытание при (-20 ± 1) °С, из-за начала пандемии ковид-19, поэтому эксперимент был остановлен. Однако полученные данные позволяют прогнозировать тепловой комфорт при эксплуатации ТОЧ при температуре (-20 ± 1) °С.

Тем не менее, в условиях более низких температур и порывистого сильного ветра, пользователям при эксплуатации ТОЧ можно рекомендовать:

повысить режим обогрева ТОЧ до 40°С;

сменить верхнюю одежду на более теплозащитную;
сверху накинуть шарф, который будет обеспечивать большее прилегание ТОЧ к спинке пользователя.

Полученные данные температуры и влажности пододежного пространства, а также теплового потока от тела респондентов и температуры окружающего воздуха, его относительной влажности - позволяют с помощью известных методик и стандартов [3, 19, 24, 184, 205, 206, 210, 226, 227], рассчитать допустимое время непрерывного пребывания человека на холоде, τ , час, и теплоизоляцию одежды с ТОЧ.

Теплоизоляцию одежды с ТОЧ рассчитываем по формуле:

$$I_k = (T_k - T_v) / q_{\text{потока}}$$

где: I_k – теплоизоляция комплекта одежды с ТОЧ, $\text{м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$; T_v – температура воздуха окружающей среды, °C ; T_k – средневзвешенная температура кожи, °C , $q_{\text{потока}}$ – средневзвешенное значение теплового потока, $\text{Вт} / \text{м}^2$.

$$T_k = 0,0886T_1 + 0,34(T_2 + T_3 + T_4 + T_5)/4 + 0,134T_6 + 0,045T_7 + 0,203(T_8 + T_9)/2 + 0,125 T_{10} + 0,0664T_{11}.$$

где $T_{1,2} \dots, T_{11}$ - соответственно температура кожи лба, груди, спины, живота, поясницы, плеча, кисти, бедра (верхняя и нижняя часть), голени, стопы, °C .

С учетом контролируемых параметров, в нашем случае средневзвешенная температура кожи равна:

при температуре $T_v = (-10) \text{°C}$, $T_k = 32,91 \text{°C}$;

при температуре $T_v = (-5) \text{°C}$, $T_k = 33,03 \text{°C}$;

при температуре $T_v = (0) \text{°C}$, $T_k = 33,19 \text{°C}$;

Расчет величины средневзвешенного теплового потока, $q_{\text{потока}}$, $\text{Вт} / \text{м}^2$, проводили по формуле:

$$q_{\text{потока}} = q_{\text{конв}} + q_{\text{рад}} = q_{\text{э.т}} - W - q_{\text{кон.дых}} - q_{\text{ис.дых}} - q_{\text{ис.кон}} \pm \Delta q_{\text{тс}}$$

где: $q_{\text{конв}}$ – теплопотери за счет конвекции, $\text{Вт} / \text{м}^2$;

$q_{\text{рад}}$ – теплопотери за счет теплового излучения, $\text{Вт} / \text{м}^2$;

$q_{\text{э.т.}}$ – энерготраты, которые для ЛОВД = $77 \text{Вт} / \text{м}^2$;

W – мощность выполняемой нагрузки, $\text{Вт} / \text{м}^2$;

$q_{\text{кон.дых}}$ – теплопотери конвекцией во время дыхания, $\text{Вт}/\text{м}^2$, рассчитывали по формуле: $q_{\text{кон.дых}} = 0,0014 \cdot q_{\text{э.т}} (T_{\text{выд.}} - T_{\text{в}})$, где $T_{\text{в}}$ – температура окружающего воздуха, $^{\circ}\text{C}$; $T_{\text{выд.}}$ – температура выдыхаемого воздуха, $^{\circ}\text{C}$ $T_{\text{выд.}} = 29 + 0,2 \cdot T_{\text{в}}$;

$q_{\text{ис.дых}}$ – теплопотери через испарение влаги во время дыхания, $\text{Вт}/\text{м}^2$, рассчитывали по формуле: $q_{\text{ис.дых}} = 0,0173 \cdot q_{\text{э.т}} \cdot (P_{\text{выд.}} - P_{\text{в}})$, где $P_{\text{выд.}}$ – давление насыщенного пара при температуре воздуха, выдыхаемого человеком, $P_{\text{в}}$ – атмосферное давление водяного пара, kPa , $P(p, t) = f(p) \cdot P\omega(t)$, где: $f(p)$ – функция от давления $f(p) = 1,0016 + 3,15 \cdot 10^{-6} \cdot p - 0,074 \cdot p^{-1}$; $P\omega(t)$ – давление насыщенного водяного пара относительно температуры сухого воздуха $P\omega(t) = 6,112 \cdot e^{(17,62 \cdot t / 243,12 + t)}$, где t – температура воздуха окружающей среды, $^{\circ}\text{C}$.

$q_{\text{ис.кон}}$ – теплопотери в процессе испарения влаги от тела, $\text{Вт}/\text{м}^2$,

$q_{\text{ис.кон}} = [(8,816 + 0,390 \cdot q_{\text{э}}) / S_{\text{ч}}] - q_{\text{исп.дых}}$, где: $S_{\text{ч}}$ – площадь обнаженного тела человека, м^2 ($S_{\text{ч}} = 0,0167 \cdot \sqrt{h \cdot m} = 0,0167 \cdot \sqrt{165 \cdot 65} = \sim 1,72 \text{ м}^2$ где h – высота человека, 165 см; m – масса человека, 65 кг.);

$\Delta q_{\text{тс}}$ – колебание теплосодержания в теле (разность между $q_{\text{э.т}}$ и суммой теплопотерь организма), $\text{Вт}/\text{м}^2$.

Средневзвешенное значение теплового потока $q_{\text{потока}}$ вычисляется в соответствии с формулами при условии, что для ЛОВД $W = 0$.

В данном исследовании температура воздуха окружающей среды рассматривалась в диапазоне от 0 до -10°C с интервалом 5° .

В результате расчетов, которые проводили с помощью программного обеспечения, получили средневзвешенное значение теплового потока:

при температуре $T_{\text{в}} = (0)^{\circ}\text{C}$, $q_{\text{потока}} = 75,97 \text{ Вт}/\text{м}^2$.

при температуре $T_{\text{в}} = (-5)^{\circ}\text{C}$, $q_{\text{потока}} = 77,81 \text{ Вт}/\text{м}^2$;

при температуре $T_{\text{в}} = (-10)^{\circ}\text{C}$, $q_{\text{потока}} = 79,35 \text{ Вт}/\text{м}^2$;

Теплоизоляция, I_k , $\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$, одежды с ТОЧ составила:

$$I_k = (T_k - T_{\text{в}}) / q_{\text{потока}}$$

где: I_k – теплоизоляция комплекта одежды с ТОЧ, $^{\circ}\text{C} \cdot \text{м}^2/\text{Вт}$; $T_{\text{в}}$ – температура воздуха окружающей среды, $^{\circ}\text{C}$; T_k – средневзвешенная температура кожи, $^{\circ}\text{C}$, $q_{\text{потока}}$ – средневзвешенное значение теплового потока, $\text{Вт}/\text{м}^2$.

при температуре $T_{\text{в}} = (-10) \text{ }^{\circ}\text{C}$, $I_k = 1,06 \text{ }^{\circ}\text{C} \cdot \text{м}^2/\text{Вт}$;

при температуре $T_{\text{в}} = (-5) \text{ }^{\circ}\text{C}$, $I_k = 1,21 \text{ }^{\circ}\text{C} \cdot \text{м}^2/\text{Вт}$;

при температуре $T_{\text{в}} = (0) \text{ }^{\circ}\text{C}$, $I_k = 1,37 \text{ }^{\circ}\text{C} \cdot \text{м}^2/\text{Вт}$;

Допустимое время непрерывного пребывания человека на холоде, τ , час, рассчитываем по формуле:

$$\tau = \frac{D}{q_{\text{потока}} - q_{\text{п.к.}}}$$

где: D - дефицит тепла в организме человека, $\text{Вт} \cdot \text{ч}/\text{м}^2$; $q_{\text{потока}}$ - средневзвешенная величина теплового потока, $\text{Вт}/\text{м}^2$; $q_{\text{п.к.}}$ - величина комфортного уровня теплового потока при различной температуры воздуха. В нашем случае $q_{\text{п.к.}} = 60,5 \text{ Вт}/\text{м}^2$, при $T=0^{\circ}\text{C}$; $q_{\text{п.к.}} = 59,6 \text{ Вт}/\text{м}^2$, при $T_{\text{в}} = -10^{\circ}\text{C}$ и $q_{\text{п.к.}} = 60,1 \text{ Вт}/\text{м}^2$, при $T=-5^{\circ}\text{C}$.

Дефицит тепла, D , $\text{Вт} \cdot \text{ч}/\text{м}^2$, принимали равное $52 \text{ Вт} \cdot \text{ч}/\text{м}^2$. Такой уровень охлаждения соответствует теплоощущению «прохладно» и безопасен для человека. Допустимое время непрерывного пребывания человека на холоде в ТОЧ составляет: $\tau_{-10} = 2,63$ часа; $\tau_{-5} = 2,94$ часа; $\tau_0 = 3,36$ часа

Таким образом, в результате проведенных расчетов установлено достаточно продолжительное от 2,63 до 3,36 часа комфортное пребывание ЛОВД при использовании ТОЧ для прогулок при температурах от (-10) до 0°C .

Сравнение показателей теплоизоляции совместно одежды и ТОЧ с нормативными требованиями (таблица 5.2) позволяет утверждать, что разработанный терморегулируемый ТОЧ обеспечивает надежную защиту ЛОВД от низких температур, даже при сильном ветре и температуре до $(-25) \text{ }^{\circ}\text{C}$.

В работе одновременно проводили опрос респондентов о их теплоощущениях и комфортности прогулки в ТОЧ, которые оценивали по семибалльной шкале, (таблицы 5.3), в соответствии с ГОСТ Р ИСО 7730-2009 и ГОСТ Р 12.4.303-2016 [226, 225]. Анализ результатов анкетирования подтвердил экспериментальные данные исследования кинетики температуры и влажности пододежного пространства при эксплуатации ТОЧ. Все респонденты на всех этапах оценивали самочувствие как комфортное - нейтральное, нормальное.

Таблица 5.2 -Требования к теплоизоляции комплекта одежды для защиты от холода

Климатический регион (пояс)	Средняя температура воздуха, °С	Наиболее вероятная скорость ветра, м/с	Должная теплоизоляция комплекта, $I_{к}$, °С·м ² /Вт	Теплоизоляция комплекта с учетом воздействия ветра и движения человека, $I_{к.в}$, °С·м ² /Вт			
				Воздухопроницаемость верхнего слоя одежды, дм ³ /м ² с			
				10	20	30	40
1	2	3	4	5	6	7	8
IA особый	-25	6,8	0,513	0,669	0,714	0,764	0,823
IB (IV)	-41	1,3	0,681	0,744	0,752	0,759	0,767
II (III)	-18	3,6	0,442	0,518	0,534	0,551	0,569
III (II)	-9,7	5,6	0,360	0,451	0,451	0,500	0,528

Таблица 5.3 - Семибалльная шкала чувствительности к температуре и комфорту пододежного пространства при эксплуатации ТОЧ

Оценка в баллах	Ощущения человека
+3	Жарко
+2	Тепло
+1	Немного тепло
0	Нейтрально. Комфортно
-1	Немного прохладно
-2	Прохладно
-3	Холодно

Все респонденты отмечали важность производства ТОЧ для людей с ограниченными возможностями движения. Изделие легко одевалось и снималось. Фиксация ТОЧ к креслу исключало его скольжение и нежелательное перемещение в кресле.

Таким образом, доказано, что термообогреваемый чехол с ЭОКТМ в режиме нагрева до 34°С, обеспечивает термальный комфорт людей с ограниченными возможностями движения во время 2 часовой прогулки в коляске при температуре до (-10) °С. Теоретические расчеты подтверждают достаточно продолжительное от 2,63 до 3,36 часа комфортное пребывание ЛОВД при использовании ТОЧ для прогулок при температурах от (-10) до 0°С.

Выводы по главе 5

1. Разработаны пакеты материалов с ЭОКТМ. Доказана высокая эффективность ЭОКТМ в создании теплозащитной одежды с регулируемым тепловым эффектом. Температура в пододежном пространстве пакетов с утеплителями массой 200 г/м^2 , поддерживается постоянной в течение 3 часов на уровне нагрева ЭОКТМ, задаваемого пользователем, как при температуре внешней среды (-10) , так и $(-20) \text{ }^\circ\text{C}$. Пакеты материалов с одним слоем утеплителя массой 100 г/м^2 и ЭОКТМ обеспечивают постоянный тепловой комфорт в течение 2-2,5 часов при температуре внешней среды до $(-10) \text{ }^\circ\text{C}$.
2. Мембранная воздуха- водонепроницаемая ткань защитит от осадков и ветра, а возможность управлять температурой нагрева ЭОКТМ от $25,5$ до $40 \text{ }^\circ\text{C}$, позволит регулировать комфорт пододежного пространства с учетом климатических условий, физической нагрузки и особенностей физиологии пользователя. Это позволяет рекомендовать разработанные пакеты материалов как для ЛОВД, так и для изготовления спецодежды МЧС, нефтяников и других профессий, а также бытовой одежды для эксплуатации в суровых условиях Крайнего Севера, Заполярья и Сибири.
3. Разработан пакет материалов и изготовлен чехол для ЛОВД. Доказано, что термообогреваемый чехол с ЭОКТМ в режиме нагрева до $34 \text{ }^\circ\text{C}$, обеспечивает термальный комфорт ЛОВД во время 2 часовой прогулки в коляске при температуре до $(-10) \text{ }^\circ\text{C}$. Теоретические расчеты подтверждают достаточно продолжительное от 2,63 до 3,36 часа комфортное пребывание ЛОВД при использовании ТОЧ для прогулок при температурах от 0 до $(-10) \text{ }^\circ\text{C}$.
4. Получена зависимость снижения температуры от времени пребывания на открытом воздухе, описывается уравнением вида: $T_{кр} = -0,01 \tau + T_{исх}$, позволяет прогнозировать время прогулки с учетом температуры окружающей среды. Опытная носка разработанного термообогреваемого чехла для ЛОВД подтвердила комфортные термальные условия при эксплуатации ТОЧ во время прогулок при минусовых температурах и оценивается респондентами как нейтральное, комфортное.

ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

1. Разработана иерархическая классификация утепляющих материалов, в которой систематизированы инновационные пассивные и активные утеплители одежды, и учтены принципы функционирования, способа производства, структура, волокнистый состав, свойства и специальные виды отделки. Классификация позволяет рационально конфекционировать материалы в пакет одежды с учетом назначения изделий и требований нормативно-технической документации.

2. Получена математическая зависимость паропроницаемости от параметров структуры и свойств мембранных тканей: $V_H = \rho \cdot d \cdot M_s \cdot V_p \cdot \Delta P^{-1} \cdot V^{10} \cdot V_H^8$, г/(м²·сек), которая позволяет прогнозировать свойства мембранных тканей на стадии их проектирования, а также прогнозировать изменение паропроницаемости мембранных тканей в процессе эксплуатации изделий.

3. Установлена зависимость изменения паропроницаемости: $V_{HK} = 81,8 \cdot K + V_{H0}$, и водоупорности: $V_H = -17,46 \cdot K + V_{H0}$, от количества (K) циклов криолиза. Многократный криолиз тканей с поровыми мембранами приводит к снижению на ~6-17% разрывной нагрузки, жесткости при изгибе на 5-15%, водоупорности на 20-41% и возрастанию паропроницаемости на 47-64%. Многократный криолиз тканей с беспоровыми мембранами приводит к снижению на ~8-27% разрывной нагрузки, жесткости при изгибе на 8-15%, водоупорности на 28-51% и возрастанию ~2-3 раза паропроницаемости.

4. Установлена кинетика процесса изменения влажности и температуры пододежного пространства мембранных тканей. Доказано, что отечественные мембранные ткани выводят влагу из пододежного пространства при влажности 80% и температуре 40°C. Импортные ткани выводят влагу при влажности пододежного пространства не более 60±2% и температуре 36-37°C, что делает их более привлекательными и конкурентоспособными.

5. Доказано, что исследуемые объемные утеплители характеризуются высокой устойчивостью к деформациям многократного сжатия - 94%. После

многократного криолиза при температуре (-20) °С устойчивость к деформациям сжатия снижается на 10%, а после пятикратной мокрой обработки на $2\pm 0,2\%$, что приводит к снижению теплового сопротивления утеплителей на 4-8%.

6. Разработан термообогревающий текстильный материал, который обеспечивает равномерный регулируемый нагрев поверхности материала до температуры 28-40°С. Разработан способ производства терморегулируемых текстильных материалов, наработана опытная партия материала, исследованы свойства и определены области его применения.

7. Установлена зависимость теплового сопротивления от основных параметров структуры и свойств объемных нетканых утеплителей одежды: $R = \frac{T \cdot \rho \cdot S \cdot \delta}{M_s^2 \lambda}$, м²·К/Вт, которая позволяет прогнозировать теплозащитные свойства материалов на стадии их проектирования и конфекционирования в пакет одежды, а также прогнозировать изменение теплозащитной функции одежды в процессе ее эксплуатации.

8. Разработан пакет материалов и изготовлен чехол для людей с ограниченными возможностями движения. Доказано, что термообогреваемый чехол в режиме нагрева до $34\pm 0,5^\circ\text{C}$, обеспечивает термальный комфорт в течение 2 и более часовой прогулки в коляске при температуре до (-20) °С и ниже. Опытная носка термообогреваемого чехла подтвердила комфортные термальные условия при эксплуатации ТОЧ.

9. Получены справочные данные физико-механических и эксплуатационных свойств исследуемых отечественных и импортных мембранных тканей, и нетканых утеплителей, которые позволяют обоснованно формировать пакеты материалов для утепленной одежды. Разработанные пакеты материалов рекомендуются, как для людей с ограниченными возможностями движения, так и для изготовления спецодежды МЧС, нефтяников и других профессий, а также бытовой одежды для эксплуатации в суровых условиях Крайнего Севера, Заполярья и Сибири.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И ТЕРМИНАЛОГИИ

Мембранная ткань – вид ткани, состоящей из нескольких слоев: верхний износостойкий слой, нижний мягкий слой, между ними несколько защитных слоев ткани и мембрана, которая, благодаря своей особой структуры, обладает водоотталкивающими и ветрозащитными свойствами, но в тоже время пропускает через себя водяной пар. (Мембранная ткань. Википедия <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B5%D0%BC%D0%B1%D1%80%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D0%B0>)

ПТФЭ - политетрафторэтилен

ПЭ - полиэфир

ПлЛАМ - пленочное покрытие ламинированное политетрафторэтиленовое

ПлПУМ - пленочное покрытие ламинированное полиуретановое

МВОКлЗ - отделка масловодоотталкивающая (МВО) с полиуретановой мембраной «Климат 3»

ВО DWR - водоотталкивающая обработка на основе фторсодержащих средств и силиконов

х/б (Хл) - хлопчатобумажный

арт. - артикул

ТР ТС - технический регламент таможенного союза

ТТМ - терморегулирующий текстильный материал

НТД - нормативно-техническая документация

УН - углеродная нить

ЭОКТМ - электрообогреваемый композиционный текстильный материал

ТОЧ - термообогреваемый чехол

ЛОВД - люди с ограниченными возможностями движения

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Черунова И.В., Лесникова Т.Ю. Физико-биологические условия для проектирования защитной одежды от охлаждения человека на воздухе и воде // Инженерный вестник Дона, 2017. – №3 (46). – С. 78.
2. Стефанова Е.Б., Черунова И.В., Колесник С.А., Савин В.С. Исследование теплозащитных свойств многослойных пакетов одежды, адаптированной к суровым климатическим условиям // Международный журнал экспериментального образования. – 2014. – № 8-1. – С. 80-83.
3. Делль Р.А., Афанасьева Р.Ф., Чубарова З.С. Гигиена одежды: Учебное пособие для вузов. - М.: Легпромбытиздат, 1991. - 160 с.
4. Афанасьева Р.Ф. Холодовой стресс и его профилактика / Р.Ф. Афанасьева, О.В. Бурмистров // Мед. труда и пром. экология. – 2001. – № 8. - с. 7 - 9.
5. Майстрах Е.В. Патологическая физиология охлаждения человека / Е.В. Майстрах. - Л.: Медицина, 1975. – 215 с.
6. Михеев М.А. Основы теплопередачи / М.А. Михеев, И.М. Михеева, М.: «Энергия», 1977. - 344 с.
7. Умняков П.Н. Основы расчета и прогнозирования теплового комфорта и экологической безопасности на предприятиях текстильной и легкой промышленности. - М: Информ-Знание, 2003. - 400 с.
8. Короткова И.В. Гигиена одежды. Московский государственный университет технологий и управления // Конспект лекций. - М.: 2012. - 43 с.
9. Колесников П.А. Теплозащитные свойства одежды. – М.: Легкая индустрия, 1965. - 340 с.
10. Афанасьева Р.Ф. МУК 4.3.1895-04 Оценка теплового состояния человека с целью обоснования гигиенических требований к микроклимату рабочих мест и мерам профилактики охлаждения и перегревания/ Р.Ф. Афанасьева, Л.А. Басаргина, Н.А. Бессонова, Т.К. Лосик, Н.С. Михайлова, Г.Н. Репин/ Утв. 03.03.2004 - М.: ГУ НИИ Медицина труда. 2004.
11. Афанасьева Р.Ф. МУК 2.2.8.2127-06 Гигиенические требования к теплоизоляции комплекта средств индивидуальной защиты от холода в различных

климатических регионах и методы ее оценки/ Р.Ф. Афанасьева, О.В. Бурмистрова, В.М. Бурмистров./ Утв. 07.09.2006 - М.: ГУ НИИ Медицина труда. 2006.

12. Глушко А.А. Космические системы жизнеобеспечения. - М.: Машиностроение, 1986. - 302 с.

13. Демидова Н.С., Дворников М.В., Несынова А.С. Мембранная технология в многослойной конструкции терморегулирующей одежды для экстремальных условий [Текст]/ Демидова Н.С.// Вестник МАИ. - 2009. - Т.16. №3. - С. 23-24.

14. Афанасьева Р.Ф., Бурмистрова О.В., Бобров А.Ф. Холод, критерии оценки и прогнозирования риска охлаждения человека [Текст]/Афанасьева Р.Ф.//Бюллетень ВСНЦ СО РАМН. - 2006. - №3. – С. 13-15.

15. Температура пододежного воздуха – 2014 г. [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://boosina.ru/news1.htm?nid=172> (Дата обращения: 02.02.2020).

16. Черунова И.В. Оптимизация параметров защитной одежды для защиты от холода // Дизайн и технологии. 2009. №11. С. 62-67.

17. Действие высоких температур на человека – 2011 г. [Электронный ресурс] – Электрон. Текстовые дан. - Управление Роспотребнадзора по Волгоградской области / Режим доступа: <http://34.rospotrebnadzor.ru/content/193/5764/> (Дата обращения: 01.09.2020).

18. Бузов, Б. А. Исследования материалов для одежды в условиях пониженных температур [Текст] / Б. А. Бузов, А. В. Никитин// М. : Легпромбытиздат, –1985, - 221 с.

19. Афанасьева Р.Ф. Гигиенические основы проектирования одежды для защиты от холода. М.: Легкая индустрия, 1977. – 137 с.

20. Бринк, И.Ю. Исследование воздействия ветра на пакеты теплозащитной одежды Текст. / И.Ю. Бринк, Е.О. Лебедева // Швейная промышленность, 2005. №3. - с. 34-36.

21. Алейникова, О.А. Анализ теплопередачи через пакеты одежды. [Текст] / О.А. Алейникова // Проблемы повышения эффективности швейного производства. Современные проблемы техники и технологии

сервиса:межвузовский сб. науч. трудов / Южно-Рос. гос. ун-т экономики и сервиса; редкол.: Л.А. Бекмурзаев [и др.]. - Шахты: Изд-во ЮРГУЭС, 2002.-(С. 50-54).

22. Склянников В.П. Гигиеническая оценка материалов для одежды (Теоретические основы разработки) / В.П. Склянников, Р.Ф. Афанасьева, Машкова Е.Н. - М.: Легпромбытиздат, 1985. - 144 с.

23. ТР ТС 019/2011 Технический регламент таможенного союза, 2011.

24. ГОСТ 12.4.303-2016 Одежда специальная для защиты от пониженных температур.– Введ. 01.07.2019. – М.: Стандартиформ, 2019.

25. ГОСТ 20489-75 Материалы для одежды. Метод определения суммарного теплового сопротивления. – Введ, 01.01.1976. – М.: Издательство стандартов, 1986.

26. ГОСТ 28486-90 Ткани плащевые и курточные из синтетических нитей. – Введ. 01,07,1991. – М.: ИПК Издательство стандартов, 1998.

27. Огнетермостойкие нетканые полотна [Электронный ресурс] – Электрон. Текстовые дан. ООО ПФ «КАДОТЕКС-2000» - Режим доступа: <http://www.kadotex.ru/netkan.php> – (Дата обращения: 18.11.2019).

28. Молдагалиева З.Д. Исследование теплозащитных свойств новых нетканых материалов / З.Д. Молдагажиева, Р.О. Жилисбаева, Ж. Жакыпбеккызы, Ж.Б. Казангельдина // Изв. ВУЗов. Технология текстильной промышленности. – 2016. – № 5. – С. 73-75.

29. Фомченкова Л. Современные нетканые объемные утеплители для верхней одежды. // Швейная промышленность. - 2014. - №6. - с. 22-25.

30. Бершев Е.Н. Нетканые текстильные полотна: Справочное пособие / Е.Н. Бершев, Г.П. Смирнов, Б. В. Заметта, Ю.П. Назаров, В.Н. Корнеев. - М.: Легпромбытиздат, 1987. - 40 с.

31. Слайтекс – современный утеплитель для спецодежды // Легкая промышленность Курьер. – 2018. - №3. – С. 18-19.

32. ГОСТ 57632-2017. Материалы нетканые для специальной одежды. Утеплители. Технические требования. Методы испытаний. – Введ, 2018-05-01. - М.: Стандартиформ, 2017.
33. Жагина И.Н. Характеристики теплозащитных свойств нетканых утепляющих материалов / И.Н. Жагина, Е.Ю. Шампаров, С.В. Родэ // Современные задачи инженерных наук [Текст]: сборник научных трудов VI-ого Международного научно-технического Симпозиума «Современные энерго- и ресурсосберегающие технологии СЭТТ – 2017» Международного научно-технического Форума «Первые международные Косыгинские чтения (11-12 октября 2017 года). Т. 7 / М.: ФГБОУ ВО «РГУ им. А.Н. Косыгина», 2017 – 311 с.
34. Иванов В.В. Невозможное - возможно (примеры инновационного применения нетканых материалов) [Текст] // Наука - текстильному производству: новейшие отраслевые научные разработки в сфере технического текстиля и практический опыт их применения. - М.: Изд-во «БОС», 2017. - 324 с.
35. Термопол: территория креативных решений // Легкая промышленность. Курьер – 2018. - №1. – с. 19-21.
36. Гроссман М.Р., Семенова Л.А. Современные нетканые материалы как утеплители для швейных изделий. // Технический текстиль, 2002, №25, С. 22-27.
37. Мухамеджанов Г.К., Володина Т.В. Тенденции и перспектива производства и потребления нетканых утеплителей для рабочей и специальной одежды. // Рабочая одежда, 2014, №1, С. 4-5.
38. Мухамеджанов Г.К. Нетканые объемные утеплители и наполнители. Часть 1. // Рынок легкой промышленности, 2014, №110, С. 41-45.
39. Мухамеджанов Г.К. Нетканые объемные утеплители и наполнители. Часть 2. // Рынок легкой промышленности. - 2014. - №110. - с. 33-37.
40. Советников Д.А., Мухамеджанов Г.К. О технических требованиях для нетканых объемных синтетических полотен. // Легкая промышленность. Курьер - 2015. - №6. - с. 12-13.
41. Мезенцева Е. Миссия выполняема! / Е. Мезенцева, В. Иванов // Легкая промышленность. Курьер - 2017. - №4. - с. 14-15.

42. Иванов, В.В. В самом сердце волокна / В.В. Иванов, Е.В. Мезенцева // Легкая промышленность Курьер. – 2018. - №3. – С. 15-17.
43. Мезенцева, Е.В. Нетканые материалы прогноз для легпрома / Е.В. Мезенцева, Иванов В.В. // Вестник Текстильлегпрома. 55-я Федеральная оптовая ярмарка товаров и оборудования текстильной и легкой промышленности – 2020. – С. 68-73.
44. Мишаков В. Тепло: сохранять или генерировать? Новые подходы к защите от низких температур / В. Мишаков, Е. Мезенцева, В. Иванов // Легкая промышленность. Курьер - 2021. - №2. - с. 10-11.
45. «Весь мир» представляет ШелТер® - высокие технологии в производстве утеплителей для верхней одежды // Текстильная промышленность, №11. 2007. - С.30-31.
46. «Termoreal» Производство и продажа утеплителей для одежды [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://termoreal.com/> (Дата обращения: 07.10.2020).
47. Молчанов В.В. Проект по выводу на рынок утеплителей нового поколения отечественного производства / В.В. Молчанов // Научно-производственное партнерство: взаимодействие науки и текстильных предприятий и новые сферы применения технического текстиля. - М.: Изд-во «БОС», 2018.- 484 с.
48. Сибиря [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://siberiafiber.ru/about/> (Дата обращения: 09.02.2020).
49. Бринк И.Ю., Лебедева Е.О., Петухова Д.Н. Современные утеплители в специальной одежде для взрывопожароопасных производств // Социально-экономические и технико-технические проблемы развития сферы услуг. РАС ЮРГУЭС г. Ростов-на-Дону, №8. 4.2. 2009. - С. 37-44.
50. Файбертек [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://fiberteck.by/uteplitel> (Дата обращения: 07.11.2020).
51. Hobbs Bonded Fibers [Электронный ресурс] / Режим доступа: hobbsbondedfibers.com / (Дата обращения: 07.08.2020).

52. Мухамеджанов Г.К. О новых типах и видах нетканых синтетических утеплителей // Легкая промышленность. Курьер - 2017. - №2. - с. 8-9.
53. Thermore [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://www.thermore.com/en/> (Дата обращения: 09.11.2019).
54. Советников Д.А. Разработка и исследование пакета материалов для спецодежды военнослужащих, используемой в арктической зоне: дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук (05.19.01) / Советников Дмитрий Анатольевич; РГУ им. Косыгина. – Москва, 2017. – 205 с.
55. Утеплитель Тинсулейт® - союз высоких технологий и природы // Текстильная промышленность, №11. 2007. - С.40-41.
56. Утеплитель «Сандлерспорте», - ж. Nonwovens Industry, № 12, 2001, с. 18.
57. Объемный утеплитель из регенерированного ПЭФ волокна, -ж. Nonwovens abstracts. 2000, № 1, с. 42-43.
58. Объемный утеплитель «Вальтерм», - ж. Nonwovens Report Inter, 1999. № 340, июль, с. 20-21.
59. Объемный утеплитель «Вальтерм» с «умными» микрочастицами, - ж. Nonwovens Report Inter, 1998. № 332, с. 16.
60. Полиолефиновые утеплители для зимней одежды, - ж. Nonwovens, 1999, № 7, с. 370, с. 1210.
61. Утеплители «Термо» с высокими теплозащитными свойствами, объемомностью мягкостью, - ж. Nonwovens Report Inter, 1999, № 336, с. 36.
62. Климова Н.А. Анализ ассортимента утепляющих материалов и разработка их классификации / Н. А. Климова, О. Н. Микрюкова, Н. Е. Ковалева, В. И. Бесшапошникова, Е. А. Кирсанова // Дизайн и технологии – 2019, №69 (111). – С. 65-72.
63. Бузов Б. А. Материаловедение в производстве изделий легкой промышленности (швейное производство) [Текст]: учебник для вузов / Б.А. Бузов, Н.Д. Алыменкова: Под. Ред. Б.А. Бузова. - М.: Издательский центр «Академия», 2004.- 448 с.

64. Тюменев, Ю.Я. Анализ потребительских свойств утеплителей для рабочей и туристской одежды/ Ю.Я. Тюменев, Г.К. Мухамеджанов, Н.С. Гоголева // Электронное периодическое издание «Сервис в России и зарубежом». Выпуск 1 (39). - 2013, с. 19-25
65. Мишаков В.Ю., Мухамеджанов Г.К. Нетканые утеплители и наполнители для швейных изделий: особенности, свойства, характеристики. Учебное пособие, Москва: ФГБОУ ВО «РЭУ им. Г.В. Плеханова», 2017, 64 с.
66. Бешапошникова В.И. Объемный нетканый утеплитель для одежды / В.И. Бешапошникова, Т.В. Куликова // Текстильная промышленность, 2005. № 7-8, С. 4-6.
67. Крылов А.Л. Производство здоровьесберегающих защитных текстильных материалов с использованием нано-, биомодифицированных химических волокон / А.Л. Крылов, Т.Н. Кудрявцева, Д.Д. Гриншпан, А.М. Прудник // Научно-производственное партнерство: взаимодействие науки и текстильных предприятий и новые сферы применения технического текстиля. – М.: Изд-во «БОС», 2018.- 484 с.
68. Иванов В.В. К вопросу о пламястойкости теплоизоляционных нетканых материалов «Холлофайбер» / В.В. Иванов, Е.В. Мезенцева // Научно-производственное партнерство: взаимодействие науки и текстильных предприятий и новые сферы применения технического текстиля. - М.: Изд-во «БОС», 2018.- 484 с.
69. Патент 2079584 RU МПК D01F8/00 Электропроводящее бикомпонентное волокно [Текст] / Казаков М.Е., Трушников А.М., Тарасова Е.П., Мараховская М.Л. // Заявлено 15.09.1994; Опубл.20.05.1997.
70. Бешапошникова В.И. Закономерности формирования структуры терморегулируемых текстильных материалов / В.И. Бешапошникова, С.В. Родэ, Л.А. Липатова, Жагина И.Н., В.И. Лобов // Химические волокна. - №1, 2017. С. 49-52.
71. Scott R. A. Textiles for Protection. Oxford. Woodhead Publishing Limited, CRC Press. 2010. 590 p.

72. Бесшапошникова В.И. Разработка многослойного электропроводящего текстильного материала / Бесшапошникова В.И., Жагрина И.Н., Липатова Л.А., Змеева Е.Д. // Известия ВУЗов. Технология текстильной промышленности. - 2017. № 1 (367). С. 83-88.

73. Кощеев В.С., Макаров В.И., Романенко М.Я. Совершенствование конструкции электронагревательных элементов для теплозащитной одежды // Медико-технические проблемы индивидуальной защиты человека Москва, №6.1970. - С. 149-156.

74. Способ получения многослойного электропроводящего обогревающего текстильного материала». / Бесшапошникова В.И., Липатова Л.А., Жагрина И.Н., Кирсанова Е.А., Зюлин А.А. // заявка №2015153836 от 16.12.2015.опублик. 21.06.2017, Бюл. №18.

75. Пат. 2172910 РФ: F28D20/00 Теплозащитный элемент и теплозащитная одежда [Текст]: Петрашев В.А., Корнеев О.А.; заявка № 2000117638/06; заявл. 06.06.2000; опубл. 27.08.2001.

76. Сапожников С.В. Перспективные направления применения электропроводящих текстильных материалов / С.В. Сапожников, В.В. Сафонов // Научно-производственное партнерство: взаимодействие науки и текстильных предприятий и новые сферы применения технического текстиля. - М.: Изд-во «БОС», 2018.- 484 с.

77. Патент RU 2506870 МПК:A41D 13/00 (США) Структурируемый теплорегулирующий материал / Блекфорд Вуди // заявка 2011148764/12; заявл. 07.05.2010; опубл. 20.02.2014 Бюл. №5.

78. Пат. 2188842С1 РФ: С09К5/06 Теплоаккумулирующий состав [Текст]: Кренев В.А.; Дробот Н.Ф., Бабиевская И.З., Гавричев К.С., Носкова О.А.; заявка № 2001114693/04; заявл. 31.05.2001; опубл. 10.09.2002.

79. Пат. 2008776С1 РФ: А41D13/00 Теплоаккумулирующий материал [Текст]: Пармон В.Н., Левицкая Э.А, Елохина Н.В., Загоруйко А.Н., Егиазарян Г.Г.; заявка № 4889051/12; заявл. 27.08.1990; опубл. 15.03.1994.

80. Калиниченко А.Ю., Разработка и исследование теплоаккумулирующих материалов на основе жидких парафинов [Текст]: дис... канд. техн. наук: 05.17.07 / А.Ю. Калиниченко. – Ставрополь, 2004. - 145 с.
81. Reezigt Kherman. Effect phase change material content on properties of heat-storage and thermoregulated fibres nonwoven // Indian Journal of Fibre & Textile Research, Vol. 28, September 2003, pp. 265-269.
82. Physiological and Physical Challenges of Body Armor [Электронный ресурс] // Defense-update. – Режим доступа: https://defense-update.com/20070616_infantry_armor_cooling.html - (Дата обращения: 20.08.2020).
83. Антонов, В. Ф. Липиды и ионная проницаемость мембран / В.Ф. Антонов. - Л.: Наука, 1982. - 152 с.
84. Томас Д. Мембранная фильтрация. – М.: Мир, 1987. – 325 с.
85. Акименко С.Н. Свойства трековых мембран на основе полиэтиленафталата / С.Н. Акименко, Т.Н. Мамонова, О.Л. Орелович // Мембраны. - 2002. - № 15. – С .4 – 8
86. ХвангСан-Так Мембранные процессы разделения / Сан-Так Хванг, К. Каммермейер. - М.: Химия. 1981. - 464 с.
87. Брок, Т. Мембранная фильтрация / Т. Брок. - М.: Мир, 1987. - 464 с.
88. Назаренко Е.А. Биофизика мембран: учеб.пособие / Е.А. Назаренко; под ред. О.В. Родионова. - М-во образования и науки РФ, Изд-во ВГТУ, 2004. - 94с.
89. Мулдер М. Введение в мембранные технологии: учебное пособие. / М. Мулдер; под ред. Ю.П. Ямпольского и В.П. Дубяги - М.: Мир, 1999. - 513 с.
90. Рыбальченко В.К. Структура и функции мембран : Практикум : [Для биол. спец. вузов] / В. К. Рыбальченко, М. М. Коганов. - Киев : Выща шк., 1988. - 312 с.
91. Свитцов А.А. Введение в мембранную технологию / А. А. Свитцов. - Москва : ДеЛи принт, 2007. - 280 с.
92. Дмитриева И.А. Паропроницаемость и гигроскопические свойства тканей из капрона и других волокон: дис. канд. техн. наук: М., 1962. – 183 с.

93. Самыгин В. Определение влагопроводности текстильных материалов при гигиенической оценке одежды / В. Самыгин // Исследование свойств химических и натуральных нитей, пряжи тканей из них: сб. науч. Трудов 2007 г. / ВНИИНХВ. – Москва, 1981. – С. 87-90.
94. Методы получения полимерных мембран [Электронный ресурс] / Режим доступа: / <http://me-system.ru/membrany/tehnologiya-izgotovleniya-membran/metody-polucheniya-polimernyh-membran/> (Дата обращения: 08.09.2020).
95. Кестинг Р.Е. Синтетические полимерные мембраны / Р.Е Кестинг: пер. с англ. А.И. Мудрагеля. А.И. К остина под ред В.К. Ежова. // М.: Изд-во Химия. - 1991. - 336с.
96. Корж Р.В. Физико-химические свойства мембран на основе сульфокатионитов MSH – Н и PuroliteCT - 275 / Р.В. Корж, В.А. Корж, Т.В. Бортышевский, Р.В. Ткаченко // Журнал прикладной химии. - №4, 2007. –С.17-21.
97. Мазитов Л.А. Технологические процессы с применением мембран / Л.А. Мазитов, Т.М. Мнацаканян. - М.:СИНТЕГ, 1976. - 372 с.
98. Мембранная ткань [Электронный ресурс] / Режим доступа: / <https://forma-odezhda.ru/encyclopedia/membrannaya-tkan/> (Дата обращения: 10.10.2020).
99. Логинова Е.А. Анализ и систематизация ассортимента мембранных тканей для одежды / Логинова Е.А., Климова Н.А., Бесшапошникова В.И. // VI Международная научно-техническая конференция «Дизайн, технологии и инновации в текстильной и легкой промышленности» (ИННОВАЦИИ-2020), РГУ им. А.Н. Косыгина, Москва, 20 октября 2020 г. С. 46-49.
100. Топ-5 мембран на все случаи жизни [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://alpindustria.ru/school/articles/top-5-membrain.html> (Дата обращения: 18.12.2020).
101. Тверской В.А. Мембранные процессы разделения. Полимерные мембраны. М.: МИТХТ им. М.В. Ломоносова, 2008.
102. Ковицына Ю.В. Характеристика современных мембранных материалов, используемых в производстве одежды для эксплуатации в условиях

пониженных температур / Ю.В. Ковицына, Е.В. Бызова // Дизайн. Материалы. Технология. – 2017, №1 (45). - 201-204 с.

103. Futurelight™ [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://thenorthface.ru/technology/future-light/> (Дата обращения: (15.12.2020).

104. H₂No® Performance Standard [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://www.patagonia.com/our-footprint/h2no-performance-standard.html> (Дата обращения: (11.08.2020).

105. Балашовский текстильный комбинат [Электронный ресурс] – Режим доступа <http://newbaltex.ru/> (Дата обращения: 22.04.2020).

106. Текстайм [Электронный ресурс] – Режим доступа <https://www.textime.ru/> (Дата обращения: 25.05.2020).

107. Чайковский текстиль [Электронный ресурс] – Режим доступа <https://textile.ru/brands/climat> (Дата обращения: 23.03.2020).

108. Моготекс [Электронный ресурс] – Режим доступа <https://mogotex.com/> (Дата обращения: 25.04.2020).

109. ГОСТ 10550-93. Материалы текстильные. Полотна. Методы определения жесткости при изгибе. - Введ. 01.01.1995. – М.: ИПК Издательство стандартов, 1995.

110. ГОСТ 19204-73 Полотна текстильные. Метод определения несминаемости. – Введ. 01.01.1975. – М.: Издательство стандартов, 1985.

111. ГОСТ 6611.2-73 Нити текстильные. Методы определения разрывной нагрузки и удлинения при разрыве. – Введ. 01.01.1976 – М.: ИПК Издательство стандартов, 1997.

112. ГОСТ 3816-81 Полотна текстильные. Методы определения гигроскопических и водоотталкивающих свойств. – Введ.01.07.1982. – М.: ИПК Издательство стандартов, 1998.

113. ГОСТ 18976-73 Ткани текстильные. Метод определения стойкости к истиранию. - Введ. 01.07.1974. – М.: Издательство стандартов, 1985.

114. ГОСТ 12023-2003 Материалы текстильные и изделия из них. Метод определения толщины. - Введ. 01.12.2005. – М.: Стандартиформ, 2005.

115. ГОСТ 30157.1-95 Методы определения изменения размеров после мокрых обработок или химической чистки. - Введ. 01.01.2002. - М.: ИПК Издательство стандартов, 2001.
116. ГОСТ 12.4.263-2014 Материалы для средств индивидуальной защиты с резиновым или пластмассовым покрытием. Методы определения водопроницаемости. - Введ. 01.12.2015. – М.: Стандартиформ, 2015.
117. ГОСТ 3811–72 Материалы текстильные. Ткани, нетканые полотна и штучные изделия. Методы определения линейных размеров, линейной и поверхностной плотностей. - Введ. 01.01.1973. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2003.
118. ГОСТ 22900–78 Кожа искусственная и пленочные материалы. Методы определения паропроницаемости и влагопоглощения. - Введ. 01.01.1979. – М.: ИПК Издательство стандартов, 1998.
119. ГОСТ 12088-77 Материалы текстильные и изделия из них. Метод определения воздухопроницаемости. - Введ. 01.01.1979. - М.: ИПК Издательство стандартов, 2003.
120. ГОСТ 20489-75 Материалы для одежды. Метод определения суммарного теплового сопротивления. - Введ. 01.01.1976. – М.: Издательство стандартов, 1986.
121. ГОСТ 30292-96 (ИСО 4920-81) Полотна текстильные. Метод испытания дождеванием. - Введ. 01.07.1999. - М.: Издательство стандартов, 1998.
122. ГОСТ Р ИСО 11092-2012 Материалы текстильные. Физиологические воздействия. - Введ. 01.07.2015. М.: Стандартиформ, 2014.
123. ISO 15496:2004– Textiles - Measurement of water vapour permeability of textiles for the purpose of quality control. [online] Iso.org. Available at: <https://www.iso.org/standard/27920.html> [Accessed 18 Apr. 2020].
124. ГОСТ 3816-81 (ИСО 811-81) Полотна текстильные. Методы определения гигроскопических и водоотталкивающих свойств. - Введ. 01.07.1992. М.: ИПК Издательство стандартов, 1998.

125. ГОСТ Р 8.736-2011 Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений. Основные положения. Введ. 01.01.2013. М.: Стандартиформ, 2019.
126. Бузов Б.А. Практикум по материаловедению швейного производства: Учеб. Пособие для студ. высш. учеб. заведений / Б.А. Бузов, Н.Д. Алыменкова, Д.Г. Петропавловский. - 2-е изд., стер. - М.: Издательский центр «Академия», 2004. - 416 с.
127. Шампаров, Е.Ю., Родэ С.В., Жагрина И.Н., Григорян М.П. Установка для измерения теплопроводности материалов легкой промышленности [Текст] // Дизайн и технологии. - 2015. - №46(88). - С. 72-76.
128. Вершинина, А.В. Оценка кинетики температуры и влажности в пододежном пространстве многослойной детской одежды / А.В. Вершинина, Е.А. Кирсанова, М.А. Павлов // Дизайн и технологии, 2018, №62(104), - С.67-74.
129. Бешапошникова В.И. Методологические основы инноваций и научного творчества. Практикум. Часть 1: учебное пособие М.: РГУ им. А.Н. Косыгина, 2018. – 120 с.
130. Бешапошникова В.И. Научные основы проектирования и прогнозирования свойств изделий текстильной и легкой промышленности. Практикум. : Учебное пособие – М. : РГУ им. А.Н. Косыгина, 2021. – 152 с.
131. Борисова Л.В., Димитров В.П., Пенязев О.А. «Статистические методы в менеджменте качества». М.: Академия, 2004. –216 с.
132. Брандт З. Анализ данных. Статистические и вычислительные методы для научных работников и инженеров: учеб.пособие/ З. Брандт ; пер. с англ. О. И. Волкова.- М.: Мир, 2003. –686 с.
133. ГОСТ Р 57514-2017 ИСО 8096:2005 Ткани с резиновым или полимерным покрытием для водонепроницаемой одежды. Технические условия. Введ. 01.04.20218. М.: Стандартиформ, 2017. – 11 с.
134. Климова Н.А. Анализ ассортимента и оценка показателей качества водозащитных тканей для одежды // Климова Н.А., Логинова Е.А., Рудой А.С., Лаговский П.В., Бешапошникова В.И. // В сборнике: Церевитиновские чтения–

2019. Материалы VI Международной научно-практической конференции. 2019. С. 199-201.

135. Климова Н.А. Исследование структуры и свойств мембранных тканей для одежды / Климова Н.А., Логинова Е.А., Рудой А.С., Морозов Д.А., Степанова И.В., Шевченко С.В., Бесшапошникова В.И. // В сборнике: Инновационное развитие легкой и текстильной промышленности (ИНТЕКС-2019). Сборник материалов Международной научной студенческой конференции. 2019. С. 37-40.

136. Климова Н.А. Исследование структуры и свойств мембранных тканей для одежды / Климова Н.А., Бесшапошникова В.И., Микрюкова О.Н., Лаговский П.В., *Ковалева Н.Е // V Международная научно-техническая конференция «Дизайн, технологии и инновации в текстильной и легкой промышленности» (ИННОВАЦИИ-2018), 14-15 ноября 2018 года, РГУ им. А.Н. Косыгина, сборник материалов, часть 2. – М.: ФГБОУ ВО «РГУ им. А.Н. Косыгина», 2018. - С. – 79-82.

137. Климова Н.А. Исследование структуры и свойств мембранных тканей для одежды и обуви / Климова Н.А., Мельников Н.А., Рудой А.С, Верзилин Н.С., Горошко А.В, Казакова Н.М., Бесшапошникова В.И. // Технологии, дизайн, наука, образование в контексте инклюзии: Сборник научных трудов. Часть 1. - М. : РГУ им. А.Н. Косыгина, 2018. - С. 50-53.

138. Бугаев Е.А. Структура, магнитные свойства и термическая стойкость многослойных наноразмерных пленочных композиций / Е.А. Бугаев // Материаловедение. - 2012. -№5.- С.30-35.

139. Бесшапошникова В.И. Текстильные материалы в производстве одежды /Бесшапошникова В.И. : учебное пособие -Саратов :Сарат. гос. техн. ун-т, 2011 .- 208 с.

140. Gore Technologies [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://www.gore.com/about/technologies> (Дата обращения: (12.09.2020).

141. ГОСТ Р ИСО 11092-2012 Материалы текстильные. Физиологические воздействия. – Введ. 01.07.2015. М.: Стандартинформ, 2014.

142. ГОСТ Р 12.4.287-2013 ССБТ Одежда специальная для защиты от химических веществ. Метод определения паропроницаемости мембранных материалов и швов. - Введ. 01.12.2014. М.: Стандартиформ, 2019.
143. ГОСТ 57876-2017 Материалы текстильные. Методы определения гигроскопичности. - Введ. 01.08.2018. - М.: Стандартиформ, 2017.
144. Вершинина А. В. Разработка метода и исследование комфортности пододежного пространства пакетов материалов детской одежды / Вершинина Анастасия Владимировна // Автореферат диссертации канд. техн. наук специальность 05.19.01. – М.: 2019. – 15 с.
145. Хамханова Д.Н. Теоретические основы обеспечения единства экспертных измерений. Улан-Удэ: Изд-во ВСГТУ, 2006. – 170 с.
146. Веников В.А. Теория подобия и моделирования. М.: Высшая школа, 1986. 479 с.
147. Шустов Ю.С. Методы подобия и размерности в текстильной промышленности. Монография. М.: МГТУ им. А.Н. Косыгина, 2002. 191 с.
148. Климова Н.А. Прогнозирование водонепроницаемости тканей с мембранным покрытием / Климова Н.А., Бесшапошникова В.И., Логинова Е.А., Арапханова Х.Б. // Молодые ученые - развитию Национальной технологической инициативы (ПОИСК). 2020. № 1. С. 289-291.
149. Климова Н.А. Прогнозирование показателей качества мембранных тканей / Бесшапошникова В.И., Климова Н.А., Логинова Е.А., Арапханова Х.Б. // В сборнике: ЦЕРЕВИТИНОВСКИЕ ЧТЕНИЯ - 2020. Материалы VII Международной научно-практической конференции. Москва, 2020. С. 161-164.
150. Бесшапошниковой В.И. Влияние низких температур на эксплуатационные свойства мембранных тканей для одежды / Бесшапошниковой В.И., Климовой Н.А., Бесшапошниковой Н.В., Ковалевой Н.Е. // Химические волокна . №1, 2020. – С. 55-58.
151. Бесшапошниковой В.И. Влияние эксплуатационных факторов на паропроницаемость мембранных тканей и пакетов одежды / Бесшапошникова

В.И., Климова Н.А., Бесшапошникова Н.В., Ковалева Н.Е. // Известия ВУЗов. Технология текстильной промышленности. №6(390), 2020. – С. 51-54.

152. Климова Н.А., Горошко А.В., Рудой А.С., Бесшапошникова В.И. Анализ методов и исследование паропроницаемости мембранных тканей // Международная научная студенческая конференция «Инновационное развитие легкой и текстильной промышленности» (ИНТЕКС-2018), Москва, 17-19 апреля 2018 г. РГУ им. А.Н. Косыгина, 2018. - С. 71-75.

153. Influence of Low Temperatures on the Operational Properties of Membrane Fabrics for Clothes. / Besshaposhnikova, V. I., Klimova, N. A., Besshaposhnikova, N. V., Kovaleva, N. E. // Fibre Chemistry; May2020, Vol. 52 Issue 1, p59-62, (Scopus)

154. Besshaposhnikova V.I., Klimova N.A., Kovaleva N.E. RESEARCH OF THE EFFECT OF LOW TEMPERATURES ON THE STRUCTURE AND PROPERTIES OF MEMBRANE FABRICS FOR CLOTHING. // ISJ Theoretical & Applied Science, (2018) 11 (67):54-61 - <http://s-o-i.org/1.1/TAS-11-67-10>.

155. Бесшапошникова В.И. Исследование влияния криолиза на свойства мембранных тканей / Бесшапошникова В. И., Климова Н. А., Логинова Е. А., Рудой А. С. // В сборнике: Высокие технологии и инновации в науке. сборник статей Международной научной конференции. 2018. С. 79-85.

156. Климова Н.А. Влияния многократного замораживания-оттаивания на свойства мембранных тканей / Климова Н.А., Бесшапошникова В.И., Логинова Е.А., Рудой А.С, Верзилин Н.С., Узбеков Д.С. // В сборнике: Эргодизайн как инновационная технология проектирования изделий и предметно-пространственной среды: инклюзивный аспект. Сборник научных трудов. Москва, 2019. С. 112-116.

157. Климова Н.А. Изменение свойств мембранных тканей под влиянием эксплуатационных факторов / Климова Н.А., Логинова Е.А., Арапханова Х.Б., Бесшапошникова В.И. // В сборнике: Сборник научных трудов Международной научной конференции, посвященной 110-летию со дня рождения профессора А.Г. Севостьянова. (10марта 2020 г.). Часть 2. –М.: РГУ им. А.Н. Косыгина,2020. С. 289-292.

158. Кокеткин П.П., Чубарова З.Ф., Афанасьева Р.Ф. Промышленное проектирование специальной одежды. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1982 – 184 с.
159. Климова Н.А. Влияние технологических факторов производства одежды на структуру и свойства мембранных тканей / Климова Н.А., Логинова Е.А., Степанова И.В., Бесшапошникова В.И. // Инновационное развитие техники и технологий в промышленности: сборник материалов Всероссийской научной конференции молодых исследователей с международным участием. (ИНТЕКС-2021), Часть 1.–М.: ФГБОУ ВО «РГУ им. А.Н. Косыгина», 2021.– С. 122-125.
160. Бузов Б.А. Материаловедение в производстве изделий легкой промышленности (швейное производство): Учебник для студ. Вузов / Б.А. Бузов, Н.Д. Алыменкова; Под ред. Б.А. Бузова. - М.: Издательский центр «Академия», 2008. - 448с.
161. ГОСТ 4103-82 Изделия швейные. Методы контроля качества. Введ. 01.07.1983 - М.: ИПК Издательство стандартов, 2001.
162. Патент 2505256 RU МПК А41D13/00, D03D15/00, C23C14/35 Способ получения электропроводящего текстильного материала [текст] / Горберг Б.Л., Иванов А.А., Стегнин В.А., Титов В.А., Молоков В.Л., Мамонтов О.В. // Заявлено 11.09.2011; Оpubл.27.01.2014, Бюл. №3.
163. Терморегулирующий костюм [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://военная-энциклопедия.рф> (Дата обращения: (15.03.2019).
164. Патент 11484 ВУ МПК: D03D11/00, H05B3/34 Многослойный электропроводящий материал / Замостоцкий Е.Г., Шаркова М.Ф., Скобова Н.В., Коган А.Г., Смелков Д.В. // заявка 20070196 от 26.02.2007, опубл. 30.10.2008.
165. Г. Е. Кричевский. Нано-, био-, химические технологии и производство нового поколения волокон, текстиля и одежды. М., 2011.-528 с.
166. Belen Zalba. Review on thermal energy storage with phase change: materials, heat transfer analysis and applications / Belen Zalba, Jose M. Marin, Luisa F. Cabeza, B. Zalba et al. // Applied Thermal Engineering 23 (2003) 251–283.
167. Phase Change Materials / Alltec Protection Systems (P) Ltd. 09/2007.

168. Military textiles. Edited by E.Wilusz, US Army Natick Soldier Center, USA. 2008. 384 p.
169. Субботина Е.В. Анализ инноваций в создании терморегулируемой одежды и материалов / Е.В. Субботина, Н.А. Климова, А.С. Комарова, В.И. Бесшапошникова // IV конференция молодых ученых, аспирантов и студентов «Церевитиновские чтения 2017», 22 марта 2017г, г. Москва, РЭУ им. Г.В. Плеханова, С. 67-70.
170. Патент 2063079 RU, МПК H01B1/20, B32B15/20. Способ получения многослойного электропроводящего материала [текст] / Асеев А.В., Зайцев Б.А., Костецкая В.В., Никитин А.А., Татаринов Н.И. // Заявка 94003461/07 от 31.01.1994; Оpubл. 27.06.1996.
171. Бесшапошникова В.И. Инновационные технологии создания терморегулируемой одежды и материалов / Бесшапошникова В.И., Субботина Е.В., Климова Н.А., Комарова А.С. // Международная заочная научно-практическая конференция «Техническое регулирование: базовая основа качества материалов, изделий и услуг», 23-24 марта 2017 г., г. Шахты, ИСОиП (филиал) ДГТУ [Электронный ресурс] С. 348-354.
172. Мелешко А.И., Половников С.П. Углерод, углеродные волокна, углеродные композиты - М.: «САЙНС-ПРЕСС», 2007. - 192 с.
173. Кокеткин П.П. Одежда: технология – техника, процессы – качество. - М. : Изд. МГУДТ, 2001 - 560 С.
174. Бесшапошникова В.И. Прокладочный материал для легкой одежды /Бесшапошникова В.И., Жилина Е.В., Гускина Н.Е., Полушенко И.Г. // Швейная промышленность. 2006. №1. С. 22-25.
175. Липатова Л.А. Обогревающий композиционный текстильный материал / Л.А. Липатова, В.И. Бесшапошникова, Н.В. Бесшапошникова, В.Ш. Хетагурова, Е.В. Субботина, Н.А. Климова // Международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов «Инновационное развитие легкой промышленности», КНИТУ, 16 - 18 ноября 2016г., Казань, 2016. – С. 53-56.

176. Родэ С.В., Шампаров, Е.Ю., И.Н. Жагрина И.Н. Измерение вкладов теплопроводности и теплового излучения в перенос тепла в среде [Текст] // Дизайн и технологии. - М: 2017 г., №57 С.79 - 85.
177. Нетканые полотна Холлофайбер // Текстильная промышленность, №5. 2007. С.58-62.
178. Климова Н.А. Прогнозирование теплозащитных свойств пакетов материалов для одежды / Климова Н.А., Логинова Е.А., Горяинов И.В., Бесшапошникова В.И. // Молодые ученые - развитию Национальной технологической инициативы (ПОИСК - 2021): сб. материалов Национальной (с международным участием) молодёжной научно-технической конференции. – Иваново: ИВГПУ, 2021. - 876 с.
179. Эксплуатационные свойства материалов для одежды и методы оценки их качества. Справочник / Гущина К.Г., Беяева С.А. и др.- М.: Легкая и пищевая промышленность, 1984. - 312 с.
180. ГОСТ Р 57027-2016 Полотна нетканые термоскрепленные объемные синтетические. Общие технические условия. Введ. 01.08.2017. - М.: Стандартинформ, 2016.
181. Заседание Комиссии при Президенте по делам инвалидов [Электронный ресурс] - Режим доступа: URL:<http://www.kremlin.ru/search?query=%D0%B8%D0%BD%D0%B2%D0%B0%D0%BB%D0%B8%D0%B4%D1%8B2> (Дата обращения: 05.04.2021).
182. Федеральный закон «О социальной защите инвалидов в РФ». //Российская федерация. Федеральный закон 181-ФЗ. номер госрегистрации Р 9504763 дата принятия 24.11.95 (ред. от 20.07.2012).
183. Особенности проектирования одежды для людей с ограниченными возможностями здоровья [Текст]: монография / редкол.: Л. А. Бекмурзаев [и др.]. - Ставрополь : Ставропольское книжное издательство, 2011. - 122 с.
184. ГОСТ Р 53453-2009, ISO TS 14415:2005. Национальный стандарт Российской Федерации. Эргономика термальной среды. Применение требований

стандартов к людям с особыми требованиями. Введ. 01.12.2010. М.: Стандартиформ, 2019.

185. Холостова В.В. К вопросу о проектировании одежды для женщин с ограниченными двигательными возможностями. В.В. Холостова, Н.Ю. Савельева // Мода и дизайн. Современная одежда и аксессуары 2009: Материалы международной научно-практической конференции. –Ростов-на-Дону: Издательство РТИСТ ЮРГУЭС, 2009. -566 с.

186. Савельева Н.Ю. Разработка адресного метода проектирования адаптационной одежды для людей с ограниченными двигательными возможностями с использованием 3Dтехнологий. Н.Ю. Савельева, С.В. Куренова, А.А. Савельева //Швейная промышленность, 2012. -№5. с.22-24

187. Савченков И. Е. Проектирование одежды на фигуры инвалидов с патологически-ми изменениями опорной поверхности и осанки: дис. канд. техн. наук : 05.19.04. Савченков Игорь Евгеньевич -СПб.: РГБ, 2006.

188. Голубчикова А. В. Разработка методики проектирования эргономичной одежды для травматических больных: дис. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук: 05.09.04 / Голубчикова Анастасия Валентиновна.-М., 2005. - 246 с.

189. Козлова Е.В. Формирование требований к проектированию одежды для людей с ограниченными возможностями передвижения / Е. В. Козлова, О.М. Плешкова // Швейная промышленность. - 2007. -№ 2. - С. 42-44.

190. Козлова Е.В. Пропорционирование костюма для людей, находящихся в инвалидном кресле. / Е. В. Козлова, О.М. Плешкова // Швейная промышленность. - 2009. -№ 6. -С. 32-34.

191. Приходченко О. В. Разработка и исследование адаптационной одежды для людей с ограниченными двигательными возможностями : диссертация кандидата технических наук : 05.19.04 / Приходченко Оксана Валентиновна; [Юж.-Рос. гос. ун-т экономики и сервиса] Шахты, 2007 229 с.

192. Савельева Н.Ю. Определение требований к проектированию специальной одежды для людей с ограниченными возможностями движения.

Н.Ю. Савельева, О.В. Приходченко //Швейная промышленность, 2007. -№1. С. 35-36.

193. Савельева Н.Ю. Концепция математического описания процессов терморегулирования нижних конечностей людей с ограниченными двигательными возможностями при помощи специальной одежды. Н.Ю. Савельева, И.В. Черунова, О.В. Приходченко // Моделирование. Теория, методы и средства. Часть 1.-Новочеркасск: ЮРГТУ, 2007.- С. 56-58.

194. PukutietouttaVammaisille,1967,№4, с.10-14, 44-46.

195. Silvert's [Электронный ресурс] - Режим доступа: Clothing. URL: <http://www.silverts.com> (Дата обращения: 05.11.2020).

196. Buckandbuck [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://www.buckandbuck.com> (Дата обращения: 15.04.2020).

197. Easy Acces Clothing [Электронныйресурс] - Режим доступа: <http://www.easyaccessclothing.com/> (Дата обращения: 06.07.2020).

198. Professional Fit Clothing [Электронныйресурс] - Режим доступа: URL: <http://www.professionalfit.com/> (Дата обращения: 10.05.2020).

199. Adaptive Apparel [Электронныйресурс] - Режим доступа: <http://www.nursinghomeapparel.com/> (Дата обращения: 03.04.2020).

200. Izzy Camilleri Adaptive Clothing [Электронныйресурс] - Режим доступа: <http://www.izzycamilleri.com/> (Дата обращения: 11.06.2020).

201. Черничкина Т. А. Исследование и разработка рекомендаций по изготовлению адаптационной одежды повышенного теплового комфорта для ЛОДВ // Научная весна-2017 : сб. науч. тр. по итогам II Всероссийской (с участием граждан иностранных государств) научной конференции студентов, аспирантов и молодых учёных, Шахты, 2017. С. 51-57.

202. Meinander H., Varheenmaa M. Clothing and textiles for disabled and elderly people [Text] // Research notes / Espoo, 2002. - 57p.

203. Herrmann K. H., Kirchberger I, Stucki G., Cieza A. The comprehensive ICF core sets for spinal cord injury from the perspective of occupational therapists: a

worldwide validation study using the Delphi technique [Text] // International Spinal Cord Society All rights reserved. – 2011. № 49. – P. 600-613.

204. Бабенко Л. Г. К вопросу разработки теплозащитной адаптационной одежды для людей с ограниченными двигательными возможностями / Бабенко Л. Г., Кученова А. А., Савельева Н. Ю., Куренова С. В., Волкова Г. Ю. // Дизайн и технологии, №66. - с. 54-59.

205. ГОСТ Р ИСО 9886-2008 Эргономика термальной среды. Оценка температурной нагрузки на основе физиологических измерений. - Введ. 01.12.2009. М.: Стандартинформ, 2009.

206. ГОСТ Р ИСО 10551-2007 Эргономика тепловой окружающей среды. Определение влияния тепловой окружающей среды с использованием шкал субъективной оценки. Введ. 01.06.2008. М.: Стандартинформ, 2008.

207. Бессонова Н.Г. Оценка комфортности одежды с различными утеплителями // Дизайн и технологии, 2018, №64(106), С. 66-70.

208. Жихарев А.П. Развитие научных основ и разработка методов оценки качества материалов для изделий легкой промышленности при силовых, температурных и влажностных воздействиях : диссертация доктора технических наук : 05.19.04/ Жихарев Александр Павлович // Москва, –2003, –368 с.

209. Бессонова Н.Г. Разработка методов и исследование теплофизических свойств текстильных материалов и пакетов под действием влаги и давления : дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук (05.19.01) / Бессонова Наталья Геннадьевна; Московский государственный университет дизайна и технологии. - Москва, 2005, - 241 с.

210. ГОСТ Р 12.4.185-99 Система стандартов безопасности труда. Средства индивидуальной защиты от пониженных температур. Методы определения теплоизоляции комплекта. Введ. 01.01.2001. М.: ИПК Издательство стандартов, 2000.

211. Единый метод конструирования женской одежды, изготавливаемой по индивидуальным заказам населения на фигуры различных типов телосложения. Ч.

1.: Основы конструирования плечевых изделий / М-во быт. обслуж. населения РСФСР, Центр. опытно-техн. швейн. лаб. -М. : ЦБНТИ, 1989. -236 с.

212. Единый метод конструирования женской одежды, изготавливаемой по индивидуальным заказам населения на фигуры различных типов телосложения. Ч.

2.: Основы конструирования поясных изделий / М-во быт. обслуж. населения РСФСР, Центр. опытно-техн. швейн. лаб. -М. : ЦБНТИ, 1989. -236 с.

213. ТУ 9396-032-53279025-2003 Одежда специальная для инвалидов. Технические условия.

214. ОРТОМОДА [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://www.ort.orthomoda.ru> (Дата обращения: 05.05.2020).

215. Холостова В.В. Разработка и исследование повседневной адаптационной одежды для женщин с ограниченными двигательными возможностями: диссертация кандидата технических наук : 05.19.04 / Холостова Валерия Валерьевна // Шахты, –2016, –288 с.

216. Абрамов А.В. Проектирование системы организации и регулирования естественной вентиляции пододежного пространства [Текст] / Родичева М.В., // Известия вузов. Технология текстильной промышленности, –2007, –№ 1с–С.46-49.

217. Абрамов А.В. Моделирование процессов тепломассообмена в биотехнической системе «человек -одежда -окружающая среда» [Текст] / М.В. Родичева, А.В. Абрамов, А.В. Уваров // Швейная промышленность, –2009, –№6–С.38-40.

218. Прохоров В.Т. Особенности защиты человека от воздействия низких температур: монография [Текст] / Прохоров В.Т., Осина Т.М., Жихарев А.П., Михайлов, А.Б., Михайлова И.Д. // Шахты :издательство ГОУ ВПО «ЮРГУЭС», – 2007, - 499с.

219. Родичева М.В. Проектирование одежды с естественной вентиляцией пододежного пространства с естественной вентиляцией для работы в условиях термонейтрального и нагревающего микроклимата: диссертация кандидата

технических наук : 05.19.04 / Родичева Маргарита Всеволодовна; Орловский государственный технический университет. Орел. - 1999, - 210 с.

220. Черунова И.В. Теоретические основы комплексного проектирования специальной теплозащитной одежды: диссертация доктора технических наук : 05.19.01 / Черунова Ирина Викторовна; Южно-Российский государственный университет экономики и сервиса. - Шахты, - 2008, - 332 с.

221. Ядреева Е.В. Проектирование комплектующих изделий утепленной спецодежды на основе прогнозирования их защитной эффективности: дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук (05.19.04) / Ядреева Екатерина Владимировна; Санкт-Петербургский государственный университет технологии и дизайна / Санкт-Петербург, - 2003, - 280 с.

222. Alexander T. Heat Transfer in Packed Bed Reactors: Heating versus Cooling Brianna Ledwith Meghan Linskey: A Major Qualifying Project Report[Text] / T. Alexander // California : Berkely, - 2011, - 83 p.

223. Ambesi D. Flow, heat and mass transfer through CBRN protective clothing [Text] / D. Ambesi // Torino : Politecnico, - 2013, - 128 p.

224. Температура кожи на различных участках тела человека [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://stroyfirm.ru/articles/teplozaschita211.html> (Дата обращения: 15.04.2021).

225. ГОСТ Р 12.4.303-2016 Система стандартов безопасности труда. Одежда специальная для защиты от пониженных температур. Технические требования. - М.: Стандартинформ. - 2019.

226. ГОСТ Р ИСО 7730-2009 Эргономика термальной среды. Аналитическое определение и интерпретация комфортности теплового режима с использованием расчета показателей PMV и PPD и критериев локального теплового комфорта. - Введ. 01.12.2010. М.: Стандартинформ, 2019.

227. ГОСТ Р ИСО 11079-2015 Эргономика термальной среды. Определение холодового стресса и его интерпретация на основе показателей требуемой термоизоляции одежды и локального охлаждающего воздействия. - Введ. 01.12.2016. М.: Стандартинформ, 2019.

228. Логинова Е.А. Разработка классификации и исследование структуры и свойств текстильных материалов с мембранным покрытием: выпускная квалификационная работа (магистерская диссертация) (29.04.02) / Логинова Елена Анатольевна; РГУ им. Косыгина. – Москва, 2020. – 92 с.

229. Лаговский П.В. Разработка методики проведения сравнительного анализа и оценки качества текстильных материалов с водоотталкивающей отделкой (магистерская диссертация) (29.04.02) / Лаговский Павел Владимирович; РГУ им. Косыгина. – Москва, 2018. – 98 с.

230. Рудой А.С. Совершенствование методов исследования структуры и свойств инновационных текстильных материалов и пакетов одежды (магистерская диссертация) (29.04.02) / Рудой Антон Сергеевич; РГУ им. Косыгина. – Москва, 2020. – 103 с.

231. Немкина А. Г. Разработка и исследование пакетов материалов для спецодежды экипировки спасателей МЧС (магистерская диссертация) (29.04.02) / Немкина Алена Геннадьевна; РГУ им. Косыгина. – Москва, 2019. – 98 с.

232. Рамазанова М. Т. Исследование теплозащитных свойств утепляющих материалов для одежды: выпускная квалификационная работа (магистерская диссертация) (29.04.02) / Рамазанова Майя Туктаровна; РГУ им. Косыгина. – Москва, 2020. – 95 с.

Приложение А

(обязательное)



АКТ

внедрения технологии производства термообогреваемого текстильного материала на ООО «КВН СЕРВИС», полученной по результатам исследований Климовой Н.А. на тему «Прогнозирование свойств терморегулирующих материалов и проектирование пакетов теплозащитных изделий».

14 октября 2019 г.

Комиссия в составе: председателя Головановой Е.В. и членов комиссии: Сидоровой Л.В. и Гришиной О.А. составили настоящий акт о том, что в швейном цеху предприятия ООО «КВН СЕРВИС» организован участок и внедрено производство термообогреваемого многослойного текстильного материала, с углеродной нитью в качестве нагревательного элемента. Технология и параметры формования структуры термообогревающего материала выполнены по результатам научных исследований диссертационной работы Климовой Натальи Александровны на тему: «Прогнозирование свойств терморегулирующих материалов и проектирование пакетов теплозащитных изделий». Технология внедрена в октябре 2019 года и используется до сегодняшнего дня.

Комиссия отмечает, что способ и параметры формирования структуры обогревающего текстильного материала обеспечили высокое качество готового материала, который используется на швейном участке предприятия, при пошиве термообогреваемых чехлов для инвалидов, по предложенному Климовой Н.А. эскизу и технологии. Изделие пользуется спросом заказчиков-потребителей.

Председатель комиссии
зам. директора

Голованова Е.В.

Члены комиссии:
Главный инженер

Сидорова Л.В.

Инженер ОТК

Гришина О.А.

Приложение Б

(обязательное)

«Утверждаю»

Первый проректор-проректор по
учебно-методической работе


С.Г. Дембицкий

2021 г.

АКТ

Об использовании результатов диссертационной работы**Климовой Наталии Александровны****на тему: «Прогнозирование свойств терморегулирующих материалов и проектирование пакетов теплозащитных изделий»**

Комиссия в составе: заведующего отделом магистратуры, д.т.н., проф. Боковой Е.С., и руководителя магистерской программы, д.т.н., проф. Бесшапошниковой В.И. составили настоящий акт о том, что результаты диссертационной работы аспирантки Климовой Н.А. на тему «Прогнозирование свойств терморегулирующих материалов и проектирование пакетов теплозащитных изделий» в 2019-2021 гг внедрены в учебный процесс подготовки магистров по направлению 29.04.02 «Технологии и проектирование текстильных изделий», магистерская программа «Инновационные технологии изделий текстильной и легкой промышленности» очной формы обучения, в дисциплинах:

- Научные основы проектирования и прогнозирования свойств изделий текстильной и легкой промышленности;
- Научные основы проектирования материалов и изделий специального назначения;
- Интеллектуальный многофункциональный текстиль и изделия легкой промышленности;
- При проведении НИР.

По данной теме выполняются курсовые работы и магистерские диссертации, что позволяет углубить и расширить знания выпускников в области проектирования новых материалов с комплексом заданных свойств, особенностей разработки и применения инноваций в производстве терморегулируемых материалов с высокими эксплуатационными свойствами.

Члены комиссии:

д.т.н., проф. Е.С. Бокова



д.т.н., проф. В.И. Бесшапошникова

Приложение В

(обязательное)

Определение значимости показателей качества текстильных материалов с мембранным покрытием методом анализа диаграмм Исикавы

Определение значимости показателей качества материалов методом диаграммы Исикавы - это метод системного анализа с использованием причинно-следственных схем Исикава, он широко используется в работах по текстильному материаловедению, особенно при оценке качества текстильных материалов. Данный метод позволит выявить наиболее значимые показатели качества материалов для спецодежды нефтяника. Схема Исикавы строится на основе мозгового штурма, и позволяет определить влияние различных факторов на исследуемый объект, что в свою очередь, приводит к рациональному и комплексному управлению показателями качества анализируемых материалов. Методика определения значимых показателей качества с использованием причинно-следственных схем реализуется по этапам.

Построение диаграммы Исикавы. На первом этапе необходимо выделить (сформулировать) проблему. График диаграммы похож на скелет рыбы, на котором центральный хребет представляет собой анализируемый показатель качества, а большие кости скелета, направленные к хребту под небольшим наклоном назад, от головы (где сформулирована проблема), представляют собой главные причины, которые могут привести к отклонению показателя качества. К главным причинам (костям) параллельно хребту проводятся горизонтальные отрезки причин второго порядка и т.д. (рисунок В.1). Количество второстепенных костей, соответствует причинам низшего третьего уровня и т. д. в порядке значимости, в зависимости от глубины дальнейшего анализа.

На втором этапе команда специалистов методом «мозгового штурма» выделяет наиболее вероятные (главные и второстепенные) причины отклонений показателя качества. Создание команды не исключает привлечения к обсуждению проблемы других специалистов функциональных подразделений или работников подразделения, в котором сформировалась проблема.

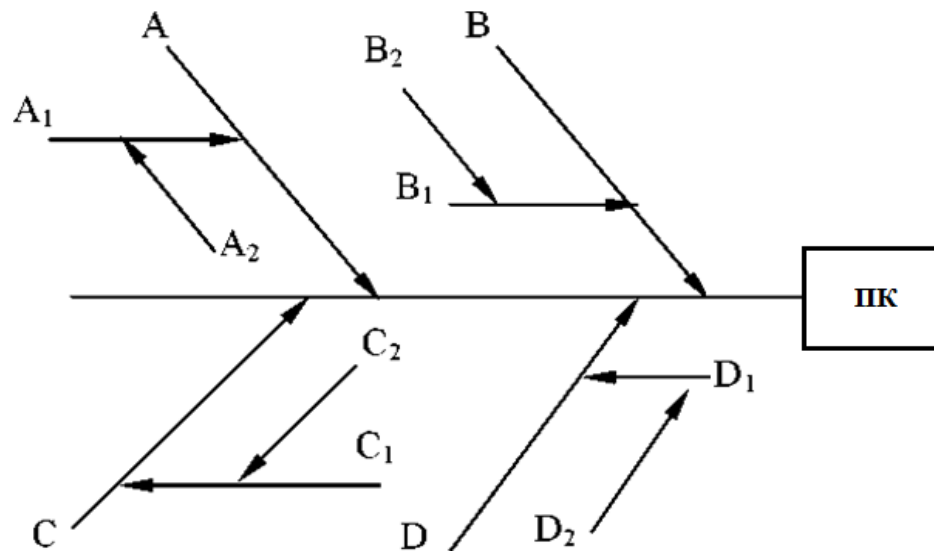


Рисунок В.1 - Причинно-следственная диаграмма с разделением причин по уровням: ПК - исследуемый показатель качества; А, В,... D – главные причины; А1, В1,...D_i - причины второго уровня; А2, В2, .. D₂ – причины третьего уровня

На третьем этапе производится сортировка причин по их предполагаемой значимости (вероятности). При сортировке можно использовать диаграмму Парето с целью экспериментальной проверки в первую очередь тех вероятных причин, суммарная значимость которых превышает 75-80%.

На четвертом этапе разрабатываются мероприятия по экспериментальной проверке этих причин. При планировании экспериментов необходимо подбирать контрольные партии образцов с учетом расслоения вероятных факторов. Анализ и проверка продолжают, пока не будут выяснены истинные причины отклонения показателя. При длительных безуспешных поисках выделенных причин целесообразно вернуться к диаграмме и определить новые направления поиска. Процесс поиска можно считать законченным, если издержки производства по данному показателю качества снизились в 2-5 раз. При выборе показателей, определяющих качество спецодежды, использовали классификацию свойств, принятую в материаловедении.

Приложение Г

(обязательное)

АНКЕТА

Уважаемый респондент!

Наша организация Российский государственный университет им. А. Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство) проводит маркетинговое исследование с целью выявления спроса покупателей на текстильные материалы с мембранным покрытием. Просим Вас принять участие в опросе и расставить показатели качества в порядке убывания (самый значимый показатель оценивается рангом 1, самый незначимый - 25). Анкета анонимная, фамилию и имя указывать не следует. Благодарим Вас за помощь!

Показатели	Код показателя	Распределение по значимости
Воздухопроницаемость	X ₁	
Паропроницаемость	X ₂	
Пылепроницаемость	X ₃	
Водонепроницаемость	X ₄	
Жесткость при изгибе	X ₅	
Устойчивость при многократном изгибе	X ₆	
Устойчивость к действию стирки	X ₇	
Водоупорность	X ₈	
Устойчивость к действию пониженных температур	X ₉	
Растяжимость	X ₁₀	
Прочность связи между слоями	X ₁₁	
Гигроскопичность	X ₁₂	
Прорубаемость	X ₁₃	
Электризуемость	X ₁₄	
Загрязняемость	X ₁₅	
Водопоглощаемость	X ₁₆	
Нагрузка при разрыве	X ₁₇	
Толщина	X ₁₈	
Формуемость	X ₁₉	
Формоустойчивость	X ₂₀	
Прочность при раздирании	X ₂₁	
Отстирываемость	X ₂₂	
Токсичность химического состава	X ₂₃	
Теплостойкость	X ₂₄	
Устойчивость к действию микроорганизмов	X ₂₅	

Приложение Д

(обязательное)

Оценка весомости значимых показателей качества мембранных тканей

Для выявления наиболее значимых показателей свойств текстильных материалов с мембранным покрытием, воспользуемся экспертным методом. 25 показателей качества были выбраны на основе анализа нормативно-технических документов на текстильные материалы с мембранным покрытием. Данные характеристики легли в основу разработанной анкеты – опроса мнений потребителей и специалистов о качестве и надежности текстильных материалов с мембранным покрытием.

Первым этапом в определении наиболее значимых характеристик экспертным методом является разработка анкеты с учетом назначения тканей с мембранным покрытием и условий эксплуатации. Следующим этапом является разработка требований к экспертам и формирование группы специалистов-экспертов из 10 человек из числа специалистов текстильного и швейного материаловедения изделий специального назначения. Ранговая оценка осуществлялась присвоением каждому показателю ранга значимости, при условии, что самый значимый показатель оценивается рангом 1, самый незначимый - 25. Расчеты проводили в Excel в программе «Оценка значимости и весомости ранговой оценки экспертов».

Статистическая обработка экспертных оценок сводилась к расчету коэффициента конкордации, определяющего согласованность мнений экспертов по совокупности критериев, оценке значимости по критерию Пирсона, и определению коэффициентов значимости каждого показателя в отдельности.

Результаты опроса мнения экспертов представлены в таблице 3.2, главы 3.

Далее необходимо обработать результаты опроса мнения экспертов.

Определяем сумму рангов по каждому эксперту (по горизонтали), которая для всех экспертов должна быть одинаковой:

$$\sum_{i=1}^n R_{ij} = (1 + 2 + 3 + \dots + n) = 0,5 \cdot n \cdot (n + 1), \quad (1)$$

где n – количество свойств.

Затем вычисляем сумма рангов для каждого свойства (по вертикали):

$$S_i = \sum_{j=1}^m R_{ji}, \quad (2)$$

где m – число экспертов.

Рассчитываем среднюю сумма рангов. Для этого складываем все суммы рангов каждого свойства $\sum S_i$ и полученный результат делим на количество свойств n :

$$\bar{S}_i = \frac{\sum_{i=1}^n S_i}{n}, \text{ или } S_i = 0,5 \cdot m \cdot (n + 1) \quad (3)$$

Находим разность между суммой рангов каждого фактора свойства S_i и средней суммой рангов \bar{S}_i по каждому свойству.

$$\Delta i_1 = S_1 - \bar{S}_i \quad (4)$$

$$\Delta i_2 = S_2 - \bar{S}_i \quad (5)$$

Определяем сумму квадратов отклонений:

$$\sum_{i=1}^n (\Delta i_i)^2 = (\Delta i_1)^2 + (\Delta i_2)^2 + \dots + (\Delta i_i)^2 \quad (6)$$

Если у эксперта имеются свойства с одинаковыми рангами, вычисляют сумму связанных рангов в j -м ранжировании (по горизонтали):

$$T_{ij} = \frac{1}{12} \sum_{j=1}^u (t_j^3 - t_j), \quad (7)$$

где u – число рангов с одинаковыми оценками j -го эксперта; t – число (одинаковых) рангов j -го эксперта.

Рассчитываем сумму связанных рангов всех экспертов:

$$\sum_{j=1}^m T_{ji} \quad (8)$$

Находим согласованность экспертных оценок (коэффициент согласованности мнений экспертов) – коэффициент конкордации:

Коэффициент конкордации W , рассчитываем по формуле (9):

$$W = \frac{12 \cdot \sum_{j=1}^n (S_j - \bar{S}_j)^2}{m^2 \cdot (n^3 - n) - m \cdot \sum_{j=1}^m T_{ji}} = 0,565 \quad (9)$$

Поскольку коэффициент конкордации существенно отличается от нуля, то можно считать, что между мнениями экспертов имеется связь. Тем не менее, эксперты неодинаково ранжируют требования (найденное значение W намного отличается от единицы).

Критерий Пирсона X_p^2 , рассчитываем по формуле:

$$X_p^2 = W \cdot m(n - 1) = 135,61 \quad (10)$$

где n - количество свойств, $n = 25$; m - количество экспертов, $m = 10$.

Сравнив расчетное значение X_p^2 с табличными данными, взятыми при достоверности 0,05, для $(n-1)=25-1=24$, получим $X_p^2=36,42$. В связи с тем, что табличные значения критерия меньше расчетных, можно с 95%-й доверительной вероятностью сделать вывод, что коэффициент конкордации является значимым, т.е. оценки экспертов согласованы.

Таблица Д.1 - Оценка весомости значимых показателей качества мембранных тканей

Шифр свойства	Наименование свойства	Коэффициент весомости показателя, $b_{\text{ранг}}$	Относительная значимость единичного показателя, b_j
X ₄	Водонепроницаемость	0,08	0,95
X ₂	Паропроницаемость	0,07	0,86
X ₉	Устойчивость к действию пониженных температур	0,06	0,82
X ₁₂	Гигроскопичность	0,06	0,8
X ₁	Воздухопроницаемость	0,06	0,88
X ₈	Водоупорность	0,06	0,76
X ₁₃	Прорубаемость	0,05	0,69
X ₁₁	Прочность связи между слоями	0,05	0,69
X ₆	Устойчивость при многократном изгибе	0,05	0,66
X ₇	Устойчивость к действию стирки	0,05	0,66
X ₂₁	Нагрузка при раздирании	0,05	0,66
X ₁₇	Нагрузка при разрыве	0,04	0,61
X ₂₄	Теплостойкость	0,04	0,58
X ₅	Жесткость при изгибе	0,04	0,56
X ₁₆	Водопоглощаемость	0,03	0,55
X ₂₅	Устойчивость к действию микроорганизмов	0,03	0,51
X ₁₈	Толщина	0,03	0,5
X ₁₄	Электризуемость	0,03	0,49
X ₂₀	Формоустойчивость	0,03	0,48
X ₁₀	Растяжимость	0,03	0,48
X ₃	Пылепроницаемость	0,03	0,48
X ₂₂	Отстирываемость	0,02	0,44
X ₁₅	Загрязняемость	0,02	0,4
X ₁₉	Формуемость	0,01	0,34
X ₂₃	Токсичность химического состава	0,01	0,26

Приложение Е

(обязательное)

Прогнозирование паропроницаемости мембранных тканей

Используя теорию подобия и размерностей, установим функциональную зависимость одного из наиболее значимых показателей качества мембранных тканей – паропроницаемости, от основных факторов и параметров структуры, которые влияют на этот показатель.

В качестве основных факторов, которые влияют на паропроницаемость мембранных тканей принимаются:

$$V_h = f(\rho, d, \Delta P, M_s, V_H, V_P, V) \quad (11)$$

Где V_h – паропроницаемость, $\text{г}/(\text{м}^2 \cdot \text{сек})$, $\text{кг}^{-3} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$;

ρ – плотность мембранной ткани, $\text{кг}/\text{м}^3$;

d – толщина мембранной ткани; м^{-3} ;

ΔP – разница давлений окружающей среды и пододежного пространства, $\text{кг}/(\text{м} \cdot \text{сек}^2)$, $\text{кг}^1 \cdot \text{м}^{-1} \cdot \text{с}^{-2}$;

M_s – поверхностная плотность мембранной ткани, $\text{г}/\text{м}^2$, $\text{кг}^{-3} \cdot \text{м}^{-2}$;

V_H – водоупорность мембранной ткани, с;

V_P – воздухопроницаемость мембранной ткани, $\text{дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{сек})$, $\text{м}^{-5} \cdot \text{с}^{-1}$;

V – скорость движения воздуха, м/с, $\text{м}^1 \cdot \text{с}^{-1}$;

Представим приведенные факторы через основные характеристики ($[M]$ – масса, кг; $[L]$ – длина, м; $[T]$ – время, сек):

$$V_h = [M]^{-3}[L]^{-2}[T]^{-1}, \text{кг}^{-3} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1};$$

$$\rho = [M]^1[L]^{-3}[T]^0, \text{кг} \cdot \text{м}^{-3};$$

$$d = [M]^0[L]^{-3}[T]^0, \text{м}^{-3};$$

$$\Delta P = [M]^1[L]^{-1}[T]^{-2}, \text{кг}^1 \cdot \text{м}^{-1} \cdot \text{с}^{-2};$$

$$M_s = [M]^{-3}[L]^{-2}[T]^0, \text{кг}^{-3} \cdot \text{м}^{-2};$$

$$V_P = [M]^0[L]^{-5}[T]^{-1}, \text{м}^{-5} \cdot \text{с}^{-1};$$

$$V = [M]^0[L]^1[T]^{-1}, \text{м}^1 \cdot \text{с}^{-1};$$

$$B_H = [M]^0 [L]^0 [T]^1, \text{ с.}$$

Аналитическое получение этой зависимости практически невозможно. Экспериментальное определение очень трудоемко. Однако если перейти от обычных физических величин к критериям подобия, т.е. к величинам, составленным из тех же физических величин, но в определенных сочетаниях в зависимости от природы процесса, можно за счет сокращения количества переменных, легко найти эту зависимость.

Воспользовавшись второй теоремой подобия, т.е. система имеет решение, причем единственное, если составленный из коэффициентов уравнения определитель будет отличен от нуля, выбираем в качестве основных размерностей ΔP , V и B_H :

$$\begin{aligned} & \alpha_{\Delta P} \beta_{\Delta P} \gamma_{\Delta P} \\ \Delta &= \alpha_V \beta_V \gamma_V \neq 0 \end{aligned} \quad (12)$$

$$\alpha_{B_H} \beta_{B_H} \gamma_{B_H}$$

Подставим в определитель соответствующие значения $\alpha_i \beta_i \gamma_i$ величин ΔP , V и B_H , и находим:

Предлагаю взять в качестве основных размерностей ΔP , V : B_H ,

$$\begin{aligned} & [M]^1 [L]^{-1} [T]^{-2} \quad 1 \quad -1 \quad -2 \\ \Delta &= [M]^0 [L]^1 [T]^{-1} = 0 \quad 1 \quad -1 = 1 \neq 0 \\ & [M]^0 [L]^0 [T]^1 \quad 0 \quad 0 \quad 1 \end{aligned}$$

Следовательно, ΔP , V и B_H можно взять в качестве основных размерностей.

Для нахождения критериев подобия используем метод нулевых размерностей, тогда получим уравнение вида:

$$\begin{aligned} & \frac{B_H}{[\Delta P]^{\alpha_{B_H}} [V]^{\beta_{B_H}} [B_H]^{\gamma_{B_H}}} = f \left(\frac{\rho}{[\Delta P]^{\alpha_\rho} [V]^{\beta_\rho} [B_H]^{\gamma_\rho}} \cdot \frac{d}{[\Delta P]^{\alpha_d} [V]^{\beta_d} [B_H]^{\gamma_d}} \cdot \frac{\Delta P}{[\Delta P]^{\alpha_{\Delta P}} [V]^{\beta_{\Delta P}} [B_H]^{\gamma_{\Delta P}}} \cdot \right. \\ & \left. \frac{M_s}{[\Delta P]^{\alpha_{M_s}} [V]^{\beta_{M_s}} [B_H]^{\gamma_{M_s}}} \cdot \frac{B_H}{[\Delta P]^{\alpha_{B_H}} [V]^{\beta_{B_H}} [B_H]^{\gamma_{B_H}}} \cdot \frac{B_P}{[\Delta P]^{\alpha_{B_P}} [V]^{\beta_{B_P}} [B_H]^{\gamma_{B_P}}} \cdot \right. \\ & \left. \frac{V}{[\Delta P]^{\alpha_V} [V]^{\beta_V} [B_H]^{\gamma_V}} \right) \end{aligned} \quad (13)$$

Рассмотрим первый комплекс уравнения 13, подставляя данные.

$$\frac{B_h}{[\Delta P]^{\alpha B_h} [V]^{\beta B_h} [B_H]^{\gamma B_h}} = \frac{[M]^{-3} [L]^{-2} [T]^{-1}}{[M]^{\alpha B_h} [L]^{-\alpha B_h} [T]^{-2\alpha B_h} \cdot [L]^{\beta B_h} [T]^{-1\beta B_h} \cdot [T]^{\gamma B_h}} =$$

$$= [M]^{-3-\alpha} \cdot [L]^{-2+\alpha-\beta} \cdot [T]^{-1+2\alpha+1\beta-\gamma} \quad (14)$$

$$[M] = -3 - \alpha = 0$$

$$[L] = -2 + \alpha - \beta = 0$$

$$[T] = -1 + 2\alpha + 1\beta - \gamma = 0.$$

Решая систему уравнений, определяем $\alpha = -3$; $\beta = -5$; $\gamma = -12$. Подставим полученные значения в начало уравнения (14) получим (15)

$$\frac{B_h}{[\Delta P]^{-3} [V]^{-5} [B_H]^{-12}} = B_h \cdot \Delta P^3 \cdot V^5 \cdot B_H^{12} \quad (15)$$

Аналогично рассмотрим второй комплекс уравнения (13).

$$\frac{\rho}{[\Delta P]^{\alpha\rho} [V]^{\beta\rho} [B_H]^{\gamma\rho}} = \frac{[M]^1 [L]^{-3} [T]^0}{[M]^{\alpha\rho} [L]^{-\alpha\rho} [T]^{-2\alpha\rho} \cdot [L]^{\beta\rho} [T]^{-1\beta\rho} \cdot [T]^{\gamma\rho}} =$$

$$= [M]^{1-\alpha\rho} \cdot [L]^{-3+\alpha\rho-\beta\rho} \cdot [T]^{2\alpha\rho+\beta\rho-\gamma\rho} \quad (16)$$

$$[M] = 1 - \alpha\rho = 0$$

$$[L] = -3 + \alpha\rho - \beta\rho = 0$$

$$[T] = 2\alpha\rho + \beta\rho - \gamma\rho = 0.$$

Решая систему уравнений, определяем $\alpha\rho = 1$; $\beta\rho = -2$; $\gamma\rho = 0$. Подставим полученные значения в начало уравнения (16) получим (17):

$$\frac{\rho}{[\Delta P]^1 [V]^{-2} [B_H]^0} = \rho \cdot \Delta P^{-1} \cdot V^2 \quad (17)$$

Аналогично рассмотрим третий комплекс уравнения (13):

$$\frac{d}{[\Delta P]^{\alpha d} [V]^{\beta d} [B_H]^{\gamma d}} = \frac{[M]^0 [L]^{-3} [T]^0}{[M]^{\alpha d} [L]^{-\alpha d} [T]^{-2\alpha d} \cdot [L]^{\beta d} [T]^{-1\beta d} \cdot [T]^{\gamma d}} =$$

$$= [M]^{-\alpha d} \cdot [L]^{-3+\alpha d-\beta d} \cdot [T]^{2\alpha d+\beta d-\gamma d} \quad (18)$$

$$[M] = -\alpha d = 0$$

$$[L] = -3 + \alpha d - \beta d = 0$$

$$[T] = 2\alpha d + \beta d - \gamma d = 0.$$

Решая систему уравнений, определяем $\alpha d = 0$; $\beta d = -3$; $\gamma d = -3$. Подставим полученные значения в начало уравнения (18) получим (19):

$$\frac{d}{[\Delta P]^0 [V]^{-3} [B_H]^{-3}} = d \cdot V^3 \cdot B_H^3 \quad (19)$$

Аналогично рассмотрим четвертый комплекс уравнения (13):

$$\frac{\Delta P}{[\Delta P]^{\alpha\Delta P} [V]^{\beta\Delta P} [B_H]^{\gamma\Delta P}} = \frac{[M]^1 [L]^{-1} [T]^{-2}}{[M]^{\alpha\Delta P} [L]^{-\alpha\Delta P} [T]^{-2\alpha\Delta P} \cdot [L]^{\beta\Delta P} [T]^{-1\beta\Delta P} \cdot [T]^{\gamma\Delta P}} =$$

$$= [M]^{1-\alpha\Delta P} \cdot [L]^{-1+\alpha\Delta P-\beta\Delta P} \cdot [T]^{-2+2\alpha\Delta P+\beta\Delta P-\gamma\Delta P} \quad (20)$$

$$[M]=1-\alpha\Delta P=0$$

$$[L]=-1+\alpha\Delta P-\beta\Delta P=0$$

$$[T]=-2+2\alpha\Delta P+\beta\Delta P-\gamma\Delta P=0.$$

Решая систему уравнений, определяем $\alpha\Delta P=1$; $\beta\Delta P=0$; $\gamma\Delta P=0$. Подставим полученные значения в начало уравнения (20) получим (21):

$$\frac{\Delta P}{[\Delta P]^1 [V]^0 [B_H]^0} = \frac{\Delta P}{\Delta P} \quad (21)$$

Аналогично рассмотрим пятый комплекс уравнения (13):

$$\frac{M_s}{[\Delta P]^{\alpha M_s} [V]^{\beta M_s} [B_H]^{\gamma M_s}} = \frac{[M]^{-3} [L]^{-2} [T]^0}{[M]^{\alpha M_s} [L]^{-\alpha M_s} [T]^{-2\alpha M_s} \cdot [L]^{\beta M_s} [T]^{-1\beta M_s} \cdot [T]^{\gamma M_s}} =$$

$$= [M]^{-3-\alpha M_s} \cdot [L]^{-2+\alpha M_s-\beta M_s} \cdot [T]^{2\alpha M_s+\beta M_s-\gamma M_s} \quad (22)$$

$$[M]=-3-\alpha M_s=0$$

$$[L]=-2+\alpha M_s-\beta M_s=0$$

$$[T]=2\alpha M_s+\beta M_s-\gamma M_s=0.$$

Решая систему уравнений, определяем $\alpha M_s=-3$; $\beta M_s=-5$; $\gamma M_s=-11$. Подставим полученные значения в начало уравнения (22) получим (23):

$$\frac{M_s}{[\Delta P]^{-3} [V]^{-5} [B_H]^{-11}} = M_s \cdot \Delta P^3 \cdot V^5 \cdot B_H^{11} \quad (23)$$

Аналогично рассмотрим шестой комплекс уравнения (13):

$$\frac{B_H}{[\Delta P]^{\alpha B_H} [V]^{\beta B_H} [B_H]^{\gamma B_H}} = \frac{[M]^0 [L]^0 [T]^1}{[M]^{\alpha B_H} [L]^{-\alpha B_H} [T]^{-2\alpha B_H} \cdot [L]^{\beta B_H} [T]^{-1\beta B_H} \cdot [T]^{\gamma B_H}} =$$

$$= [M]^{-\alpha B_H} \cdot [L]^{\alpha B_H-\beta B_H} \cdot [T]^{1+2\alpha B_H+\beta B_H-\gamma B_H} \quad (24)$$

$$[M]=-\alpha B_H=0$$

$$[L]=\alpha B_H-\beta B_H=0$$

$$[T]=1+2\alpha B_H+\beta B_H-\gamma B_H=0.$$

Решая систему уравнений, определяем $\alpha B_H=0$; $\beta B_H=0$; $\gamma B_H=1$. Подставим полученные значения в начало уравнения (24) получим (25):

$$\frac{B_H}{[\Delta P]^0[V]^0[B_H]^1} = \frac{B_H}{B_H} \quad (25)$$

Аналогично рассмотрим седьмой комплекс уравнения (13):

$$\frac{B_P}{[\Delta P]^{\alpha B_P}[V]^{\beta B_P}[B_H]^{\gamma B_P}} = \frac{[M]^0[L]^{-5}[T]^{-1}}{[M]^{\alpha B_P}[L]^{-\alpha B_P}[T]^{-2\alpha B_P} \cdot [L]^{\beta B_P}[T]^{-1\beta B_P} \cdot [T]^{\gamma B_P}} =$$

$$= [M]^{-\alpha B_P} \cdot [L]^{-5+\alpha B_P-\beta B_P} \cdot [T]^{-1+2\alpha B_P+\beta B_P-\gamma B_P} \quad (26)$$

$$[M] = -\alpha B_P = 0$$

$$[L] = -5 + \alpha B_P - \beta B_P = 0$$

$$[T] = -1 + 2\alpha B_P + \beta B_P - \gamma B_P.$$

Решая систему уравнений, определяем $\alpha B_P = 0$; $\beta B_P = -5$; $\gamma B_P = -6$. Подставим полученные значения в начало уравнения (26) получим (27):

$$\frac{B_P}{[\Delta P]^0[V]^{-5}[B_H]^{-6}} = B_P \cdot V^5 \cdot B_H^6 \quad (27)$$

Аналогично рассмотрим восьмой комплекс уравнения (13):

$$\frac{V}{[\Delta P]^{\alpha V}[V]^{\beta V}[B_H]^{\gamma V}} = \frac{[M]^0[L]^1[T]^{-1}}{[M]^{\alpha V}[L]^{-\alpha V}[T]^{-2\alpha V} \cdot [L]^{\beta V}[T]^{-1\beta V} \cdot [T]^{\gamma V}} =$$

$$= [M]^{-\alpha V} \cdot [L]^{1+\alpha V-\beta V} \cdot [T]^{-1+2\alpha V+\beta V-\gamma V} \quad (28)$$

$$[M] = -\alpha V = 0$$

$$[L] = 1 + \alpha V - \beta V = 0$$

$$[T] = -1 + 2\alpha V + \beta V - \gamma V = 0.$$

Решая систему уравнений, определяем $\alpha V = 0$; $\beta V = 1$; $\gamma V = 0$. Подставим полученные значения в начало уравнения (28) получим (29):

$$\frac{V}{[\Delta P]^0[V]^1[B_H]^0} = \frac{V}{V} \quad (29)$$

После нахождения критериев подобия и подстановки их в уравнение (13), то получим зависимость вида (30):

$$B_H \cdot \Delta P^3 \cdot V^5 \cdot B_H^{12} = \rho \cdot \Delta P^{-1} \cdot V^2 \cdot d \cdot V^3 \cdot B_H^3 \cdot Ms \cdot \Delta P^3 \cdot V^5 \cdot B_H^{11} \cdot B_P \cdot V^5 \cdot B_H^6$$

После математического сокращения зависимость паропроницаемости от анализируемых факторов имеет вид (31):

$$B_H = \rho \cdot d \cdot Ms \cdot B_P \cdot \Delta P^{-1} \cdot V^{10} \cdot B_H^8, \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{сек}) \quad (31)$$

Проверим сходимость единиц измерения полученной формулы:

$$B_H = \text{кг} \cdot \text{м}^{-3} \cdot \text{м}^{-3} \cdot \text{кг}^{-3} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{м}^{-5} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{м}^1 \cdot \text{с}^2 \cdot \text{м}^{10} \cdot \text{с}^{-10} \cdot \text{с}^8 = \text{кг}^{-3} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1};$$

где B_n – паропроницаемость, $\text{г}/(\text{м}^2 \cdot \text{сек})$, $\text{кг}^{-3} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$; ρ – плотность мембранной ткани, $\text{кг}/\text{м}^3$; d – толщина мембранной ткани, мм , м^{-3} ; ΔP – разница давлений по обе стороны ткани, Па , $\text{кг}^1 \cdot \text{м}^{-1} \cdot \text{с}^{-2}$; M_s – поверхностная плотность, $\text{г}/\text{м}^2$, $\text{кг}^{-3} \cdot \text{м}^{-2}$; B_H – водоупорность, с ; B_p – воздухопроницаемость, $\text{дм}^3/\text{м}^2 \cdot \text{с}$, $\text{м}^{-5} \cdot \text{с}^{-1}$; V – скорость воздуха, $\text{м}/\text{с}$, $\text{м}^1 \cdot \text{с}^{-1}$;

Таким образом, в результате применения теории подобия и анализа размерностей получена функциональная зависимость паропроницаемости ткани с мембранным покрытием от ее основных параметров, которая позволяет прогнозировать изменение паропроницаемости мембранных тканей в процессе эксплуатации изделий.

Приложение Ж

(обязательное)

Прогнозирование теплового сопротивления от структуры нетканых утепляющих материалов

Учитывая, что прогнозирование позволяет значительно снизить материальные и временные затраты на проектирования изделий, в работе, используя теорию подобия и размерностей, получена функциональная зависимость теплового сопротивления от основных параметров структуры объемных синтетических утепляющих нетканых материалов по основным параметрам.

В качестве основных факторов, которые влияют на тепловое сопротивление материалов принимают:

$$R = f(\rho, \lambda, M_s, T_n, K_b, C_n, C_k, O_c, S)$$

где R - тепловое сопротивление $\text{м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт}$;

ρ - объемная плотность, $\text{г} / \text{м}^3$;

λ - теплопроводность волокон $\text{Вт} / (\text{м} \cdot \text{К})$;

M_s - поверхностная плотность, $\text{г} / \text{м}^2$;

T_n - линейная плотность волокон, $\text{мг} / \text{м}$ ($\text{г} / \text{м}^3$);

S - площадь пробы, м^2 ;

δ - толщина материала, м^{-3} ;

C_n - способ формирования структуры полотен;

C_k - способ скрепления;

O_c - однородность структуры.

В качестве основных характеристик, выбрали: $[M]$ - масса, кг; $[T]$ - температура, К, $[L]$ - длина, м.

Представим приведенные факторы через основные характеристики:

$$R = [M]^0 [T]^1 [L]^2, \text{ м}^2 \text{ К} / \text{Вт},$$

$$M_s = [M]^1 [T]^0 [L]^{-2}, \text{ г} / \text{м}^2;$$

$$\rho = [M]^1 [T]^0 [L]^{-3}, \text{ г} / \text{м}^3;$$

$$\lambda = [M]^0 [T]^{-1} [L]^{-1}, \text{ ВТ/(м} \cdot \text{К)};$$

$$T_n = [M]^1 [T]^0 [L]^{-3}, \text{ г/м}^3;$$

$$S = [M]^0 [T]^0 [L]^2, \text{ м}^2.$$

$$\delta = [M]^0 [T]^0 [L]^1, \text{ м};$$

$$C_n = [M]^0 [T]^0 [L]^0;$$

$$C_k = [M]^0 [T]^0 [L]^0;$$

$$O_c = [M]^0 [T]^0 [L]^0;$$

Показатели C_n - способ формирования структуры полотен, C_k - способ скрепления и O_c - однородность структуры имеют нулевую размерность и поэтому исключаются из рассмотрения.

В качестве основных размерностей выбираем M_s , ρ и λ . Выбор этих показателей продиктован второй теоремой подобия, т.е. система имеет решение, причем единственное, если составленный из коэффициентов уравнения определитель будет отличен от нуля:

$$\Delta = \begin{vmatrix} \alpha_p & \beta_p & \gamma_p \\ \alpha_T & \beta_T & \gamma_T \\ \alpha_\rho & \beta_\rho & \gamma_\rho \end{vmatrix} \neq 0$$

Подставим в определитель соответствующие значения μ_i , λ_i , τ_i величин M_s , ρ и λ . и находим:

$$\Delta = \begin{vmatrix} [M]^1 [T]^0 [L]^{-2} & 1 & 0 & -2 \\ [M]^0 [T]^{-1} [L]^{-1} & 0 & -1 & -1 \\ [M]^1 [T]^0 [L]^{-3} & 1 & 0 & -3 \end{vmatrix} = 1 \times (-1) \times (-1) = 1 \neq 0$$

Следовательно, M_s , ρ и λ . можно взять в качестве основных размерностей.

Для нахождения критериев подобия используем метод нулевых размерностей, тогда получим уравнение вида (32):

$$\begin{aligned}
& \frac{R}{[Ms]^{\alpha R} [\rho]^{\beta R} [\lambda]^{\gamma R}} \\
& = f \left(\frac{Ms}{[Ms]^{\alpha Ms} [\rho]^{\beta Ms} [\lambda]^{\gamma Ms}} \cdot \frac{\rho}{[Ms]^{\alpha \rho} [\rho]^{\beta \rho} [\lambda]^{\gamma \rho}} \cdot \frac{\lambda}{[Ms]^{\alpha \lambda} [\rho]^{\beta \lambda} [\lambda]^{\gamma \lambda}} \right. \\
& \quad \left. \cdot \frac{T}{[Ms]^{\alpha T} [\rho]^{\beta T} [\lambda]^{\gamma T}} \cdot \frac{S}{[Ms]^{\alpha S} [\rho]^{\beta S} [\lambda]^{\gamma S}} \cdot \frac{\delta}{[Ms]^{\alpha \delta} [\rho]^{\beta \delta} [\lambda]^{\gamma \delta}} \right)
\end{aligned} \tag{32}$$

Рассмотрим первый комплекс уравнения 32, подставляя данные.

$$\begin{aligned}
& \frac{R}{[Ms]^{\alpha R} [\rho]^{\beta R} [\lambda]^{\gamma R}} = \frac{[M]^0 [T]^1 [L]^2}{[M]^{\alpha R} [L]^{-2\alpha R} \cdot [M]^{\beta R} [L]^{-3\beta R} \cdot [T]^{-\gamma R} [L]^{-\gamma R}} = \\
& = [M]^{-\alpha R - \beta R} [T]^{1+\gamma R} [L]^{2+2\alpha R+3\beta R+\gamma R}
\end{aligned} \tag{33}$$

Отсюда

$$[M] = -\alpha_R - \beta_R = 0$$

$$[T] = 1 + \gamma_R = 0$$

$$[L] = 2 + 2\alpha_R + 3\beta_R + \gamma_R = 0.$$

Решая систему уравнений, определяем $\alpha_R = 1$; $\beta_R = -1$; $\gamma_R = -1$. Подставим полученные значения в начало уравнения (33) получим (34):

$$\frac{R}{[Ms]^1 [\rho]^{-1} [\lambda]^{-1}} = \frac{R \cdot \rho \cdot \lambda}{Ms} \tag{34}$$

Аналогично рассмотрим второй комплекс уравнения (32).

$$\begin{aligned}
& \frac{Ms}{[Ms]^{\alpha Ms} [\rho]^{\beta Ms} [\lambda]^{\gamma Ms}} = \frac{[M]^1 [T]^0 [L]^{-2}}{[M]^{\alpha Ms} [L]^{-2\alpha Ms} \cdot [M]^{\beta Ms} [L]^{-3\beta Ms} \cdot [T]^{-\gamma Ms} [L]^{-\gamma Ms}} = \\
& = [M]^{1-\alpha Ms-\beta Ms} [T]^{+\gamma Ms} [L]^{-2+2\alpha Ms+3\beta Ms+\gamma Ms}
\end{aligned} \tag{35}$$

Отсюда

$$[M] = 1 - \alpha_{Ms} - \beta_{Ms} = 0$$

$$[T] = +\gamma_{Ms} = 0$$

$$[L] = -2 + 2\alpha_{Ms} + 3\beta_{Ms} + \gamma_{Ms}.$$

Решая систему уравнений, определяем $\alpha_{Ms} = 1$; $\beta_{Ms} = 0$; $\gamma_{Ms} = 0$. Подставим полученные значения в начало уравнения (35) получим (36):

$$\frac{Ms}{[Ms]^1 [\rho]^0 [\lambda]^0} = \frac{Ms}{Ms} = 1 \tag{36}$$

Аналогично рассмотрим третий комплекс уравнения (32).

$$\begin{aligned} \frac{\rho}{[Ms]^{\alpha\rho}[\rho]^{\beta\rho}[\lambda]^{\gamma\rho}} &= \frac{[M]^1[T]^0[L]^{-3}}{[M]^{\alpha\rho}[L]^{-2\alpha\rho} \cdot [M]^{\beta\rho}[L]^{-3\beta\rho} \cdot [T]^{-\gamma\rho}[L]^{-\gamma\rho}} = \\ &= [M]^{1-\alpha\rho-\beta\rho} [T]^{\gamma\rho} [L]^{-3+2\alpha\rho+3\beta\rho+\gamma\rho} \end{aligned} \quad (37)$$

Отсюда

$$[M] = 1 - \alpha\rho - \beta\rho = 0$$

$$[T] = \gamma\rho = 0$$

$$[L] = -3 + 2\alpha\rho + 3\beta\rho + \gamma\rho = 0.$$

Решая систему уравнений, определяем $\alpha\rho=0$; $\beta\rho=1$; $\gamma\rho=0$. Подставим полученные значения в начало уравнения (37) получим (38)

$$\frac{\rho}{[Ms]^0[\rho]^1[\lambda]^0} = \frac{\rho}{\rho} = 1 \quad (38)$$

Аналогично рассмотрим четвертый комплекс уравнения (32).

$$\begin{aligned} \frac{\lambda}{[Ms]^{\alpha\lambda}[\rho]^{\beta\lambda}[\lambda]^{\gamma\lambda}} &= \frac{[M]^0[T]^{-1}[L]^{-1}}{[M]^{\alpha\lambda}[L]^{-2\alpha\lambda} \cdot [M]^{\beta\lambda}[L]^{-3\beta\lambda} \cdot [T]^{-\gamma\lambda}[L]^{-\gamma\lambda}} = \\ &= [M]^{-\alpha\lambda-\beta\lambda} [T]^{-1+\gamma\lambda} [L]^{-1+2\alpha\lambda+3\beta\lambda+\gamma\lambda} \end{aligned} \quad (39)$$

Отсюда

$$[M] = -\alpha\lambda - \beta\lambda = 0$$

$$[T] = -1 + \gamma\lambda = 0$$

$$[L] = -1 + 2\alpha\lambda + 3\beta\lambda + \gamma\lambda = 0.$$

Решая систему уравнений, определяем $\alpha\lambda=0$; $\beta\lambda=0$; $\gamma\lambda=1$. Подставим полученные значения в начало уравнения (39) получим (40)

$$\frac{\lambda}{[Ms]^0[\rho]^0[\lambda]^1} = \frac{\lambda}{\lambda} = 1 \quad (40)$$

Аналогично рассмотрим пятый комплекс уравнения (32).

$$\begin{aligned} \frac{T}{[Ms]^{\alpha T}[\rho]^{\beta T}[\lambda]^{\gamma T}} &= \frac{[M]^1[T]^0[L]^{-3}}{[M]^{\alpha T}[L]^{-2\alpha T} \cdot [M]^{\beta T}[L]^{-3\beta T} \cdot [T]^{-\gamma T}[L]^{-\gamma T}} = \\ &= [M]^{1-\alpha T-\beta T} [T]^{\gamma T} [L]^{-3+2\alpha T+3\beta T+\gamma T} \end{aligned} \quad (41)$$

Отсюда

$$[M] = 1 - \alpha T - \beta T = 0$$

$$[T] = \gamma T = 0$$

$$[L] = -3 + 2\alpha T + 3\beta T + \gamma T = 0.$$

Решая систему уравнений, определяем $\alpha T=0$; $\beta T=1$; $\gamma T=0$. Подставим полученные

значения в начало уравнения (41) получим (42)

$$\frac{T}{[Ms]^0[\rho]^1[\lambda]^0} = \frac{T \cdot \rho}{\rho} \quad (42)$$

Аналогично рассмотрим шестой комплекс уравнения (32),

$$\begin{aligned} \frac{S}{[Ms]^{\alpha S}[\rho]^{\beta S}[\lambda]^{\gamma S}} &= \frac{[M]^0[T]^0[L]^2}{[M]^{\alpha S}[L]^{-2\alpha S} \cdot [M]^{\beta S}[L]^{-3\beta S} \cdot [T]^{-\gamma S}[L]^{-\gamma S}} = \\ &= [M]^{-\alpha S - \beta S} [T]^{+\gamma S} [L]^{2+2\alpha S + 3\beta S + \gamma S} \end{aligned} \quad (43)$$

Отсюда

$$[M] = -\alpha_S - \beta_S = 0$$

$$[T] = \gamma_S = 0$$

$$[L] = 2 + 2\alpha_S + 3\beta_S + \gamma_S = 0.$$

Решая систему уравнений, определяем $\alpha_S=2$; $\beta_S=-2$; $\gamma_S=0$. Подставим полученные значения в начало уравнения (43) получим (44)

$$\frac{S}{[Ms]^2[\rho]^{-2}[\lambda]^0} = \frac{S \cdot \rho^2}{Ms^2} \quad (44)$$

Аналогично рассмотрим седьмой комплекс уравнения (32).

$$\begin{aligned} \frac{\delta}{[Ms]^{\alpha \delta}[\rho]^{\beta \delta}[\lambda]^{\gamma \delta}} &= \frac{[M]^0[T]^0[L]^1}{[M]^{\alpha \delta}[L]^{-2\alpha \delta} \cdot [M]^{\beta \delta}[L]^{-3\beta \delta} \cdot [T]^{-\gamma \delta}[L]^{-\gamma \delta}} = \\ &= [M]^{-\alpha \delta - \beta \delta} [T]^{+\gamma \delta} [L]^{-3+2\alpha \delta + 3\beta \delta + \gamma \delta} \end{aligned} \quad (45)$$

Отсюда

$$[M] = -\alpha_\delta - \beta_\delta = 0$$

$$[T] = \gamma_\delta = 0$$

$$[L] = 1 + 2\alpha_\delta + 3\beta_\delta + \gamma_\delta = 0.$$

Решая систему уравнений, определяем $\alpha_\delta=1$; $\beta_\delta=-1$; $\gamma_\delta=0$. Подставим полученные значения в начало уравнения (45) получим (46)

$$\frac{\delta}{[Ms]^1[\rho]^{-1}[\lambda]^0} = \frac{\delta \cdot \rho}{Ms} \quad (46)$$

После нахождения критериев подобия уравнение (32) имеет вид:

$$\frac{R \cdot \rho \cdot \lambda}{Ms} = \frac{T \cdot S \cdot \rho^2}{\rho} \cdot \frac{\delta \cdot \rho}{Ms}$$

- после сокращений и деления получим формулу (47):

$$R = \frac{T \cdot \rho \cdot S \cdot \delta}{M_s^2 \lambda}, \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт} \quad (47)$$

где R - тепловое сопротивление, $\text{м}^2 \cdot \text{К/Вт}$; ρ - объемная плотность, г/м^3 ; λ - теплопроводность волокон $\text{Вт/(м} \cdot \text{К)}$; M_s - поверхностная плотность, г/м^2 ; T - линейная плотность нитей, г/м^3 ; S - площадь пробы, м^2 ; δ - толщина материала, м.

Таким образом, в результате применения теории подобия и анализа размерностей получена функциональная зависимость теплового сопротивления от основных параметров структуры полотен одежды.

Приложение 3

(обязательное)

Конструктивные особенности и описание внешнего вида термообогреваемого чехла для людей с ограниченными возможностями движения

Внешний вид и конструктивные особенности термообогреваемого чехла (ТОЧ) представлены на рисунке (рисунок 3.1). При разработке конструкции изделия руководствовались «Единая методика конструирования женской одежды, изготавливаемой по индивидуальным заказам населения на фигуры различных типов телосложения. Ч. 2.: Основы конструирования поясных изделий», ТУ 9396-032-53279025-2003 «Одежда специальная для инвалидов», а также на основании опыта проектирования специальной защитной одежды для людей с ограниченными возможностями движения, изложенными в работах ученых: Черуновой И.В., Холостовой В.В., Родичевой М.В., Приходченко О.В., Яреевой Е.В., Савельевой Н.Ю. и других ученых в области проектирования одежды.

Описание внешнего вида.

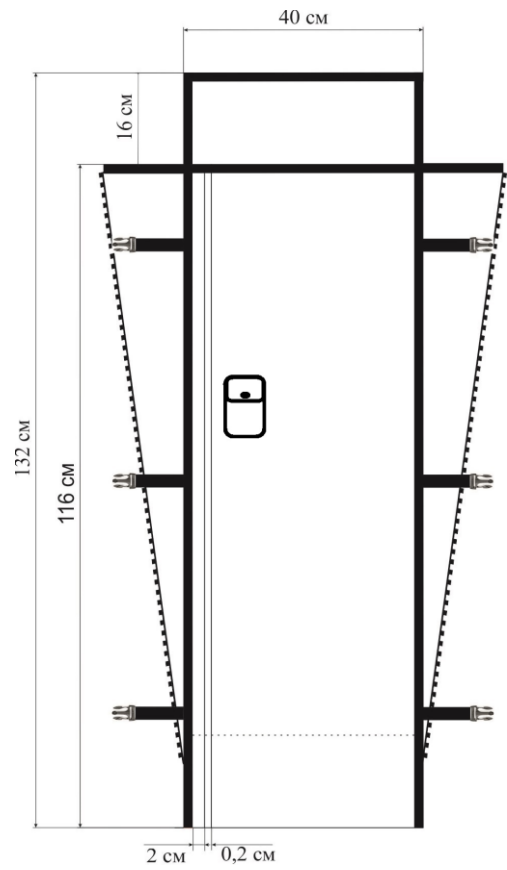
Термообогреваемый чехол (ТОЧ), унисексовый, прямого покроя, состоящий из четырех частей: передней, задней и двух боковых.

Передняя часть откидная. На ткань верха настроен карман с клапаном, с застежкой на кнопку, для хранения аккумулятора с пультом управления.

Задняя часть высокая и закрывает спину. На спинке, на расстоянии 23 см от верхнего среза расположена застежка для фиксации ТОЧ на инвалидном кресле.

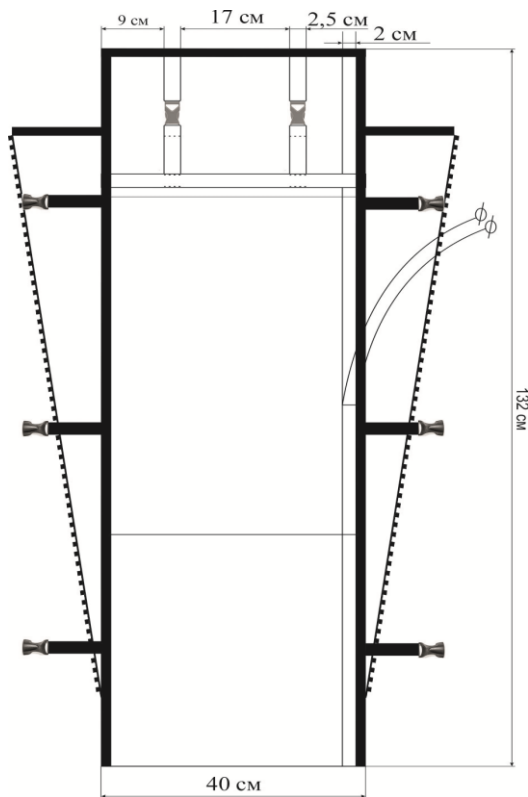
Боковая часть с центральной застежкой на тесьму-молнию длиной 105 см, которая закрывается планкой для защиты от осадков и ветра.

В боковые части по срезам настроены 3 застежки фастексы, для фиксации ТОЧ в инвалидном кресле.

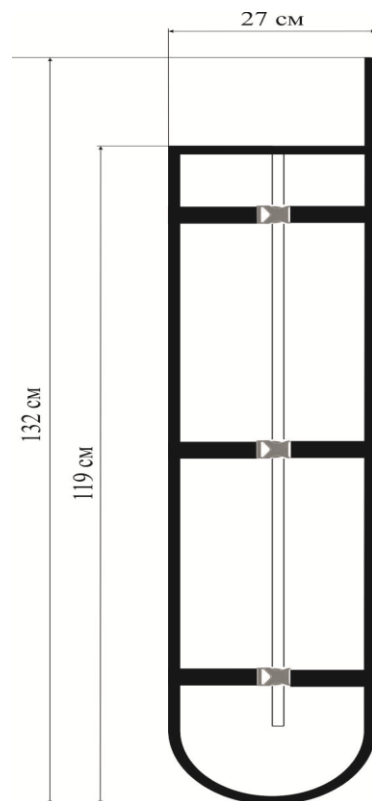


Внешний вид изделия ТОЧ

А)



Б)



В)

Рисунок 3.1 – Внешний вид и конструктивные особенности термообогреваемого чехла (ТОЧ). Вид: А) –спереди; Б) –сзади; В) –с боку

Подкладка из поларфлиса приточная по контуру срезов изделия. На подкладку в области стоп на всю ширину передней и задней части настроена разъемная тесьма-молния, для фиксации дополнительной съемной подкладки под обувь, из ткани с водо-грязеотталкивающей пропиткой арт. Oxford 240 PU 1000, для удобства ухода за изделием. На переднюю и заднюю части подкладки по контуру настроен электрообогреваемый композиционный текстильный материал, который соединен общим проводом и подключен к аккумулятору.

Боковые срезу соединяются стачным швом и обработаны тесьмой контрастного цвета.

Структура пакета материалов. Ткань верха – мембранная ткань арт. С 911М бордового цвета, однотонная, поверхностной плотности 135 г/м². Утеплитель – нетканый объемный синтетический из полых полиэфирных волокон, марки Холлофайбер СОФТ Р 5198, поверхностной плотности 200 г/м². Подкладка из трикотажного полотна поларфлис (Китай), с двухсторонним ворсом из полых полиэфирных волокон, серого цвета, однотонная, поверхностной плотности 300 г/м².

Размер данного изделия ТОЧ для женщин.

Размер - 44-46,

обхват груди 88-92,

рост – 168,

полнотная группа – II.