

На правах рукописи



**БОГДАНОВ ВЛАДИМИР ФЕДОРОВИЧ**

**РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И КОНТРОЛЯ  
ТЕПЛОВОЙ ЗАЩИТЫ СПАЛЬНЫХ МЕШКОВ С ПУХОВЫМ  
УТЕПЛИТЕЛЕМ**

Научная специальность: 2.6.16.

Технология производства изделий текстильной и лёгкой промышленности

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание учёной степени

кандидата технических наук

Шахты-2023

Работа выполнена в Институте сферы обслуживания и предпринимательства (филиале) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Донской государственный технический университет» в г. Шахты Ростовской области (ИСОиП (филиал) ДГТУ в г. Шахты) на кафедре "Конструирование, технологии и дизайн".

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор кафедры «Конструирование, технологии и дизайн», Институт сферы обслуживания и предпринимательства (филиал) ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет» в г. Шахты Ростовской области

**Бринк Иван Юрьевич**

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Конструирование и технологии изделий легкой промышленности», ФГАОУ ВО «Омский государственный технический университет», г. Омск

**Чижик Маргарита Анатольевна**

кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой индустрии моды, ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева», г. Орел

**Родичева Маргарита Всеволодовна**

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

Защита диссертации состоится «22» декабря 2023 года в 12.30 ч. на заседании диссертационного совета 24.2.368.02, созданного на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)» по адресу: 119071, г. Москва, ул. Малая Калужская, дом 1, зал заседаний ученого совета.

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

Автореферат разослан «15» ноября 2023 года.

Учёный секретарь  
диссертационного совета 24.2.368.02



Мезенцева Т.В.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность диссертационной работы.** В связи с повышением активности в освоении полярных регионов Российской Федерации, развитием природного туризма расширяется производство аутдор-снаряжения, предназначенного для использования в экстремальных условиях пониженных температур. Важным предметом такого снаряжения является спальный мешок, который должен обеспечить человеку отдых при низких температурах окружающей среды. Главным отличием пребывания человека в экстремальных условиях холода во время спортивных мероприятий от регламентированного пребывания человека во время трудовой деятельности является добровольность и, подчас, фатальность. И эта проблема приобретает все более массовый характер и требует особо тщательного исследования.

Западная методология оценки тепловой защиты спальных мешков сводится к стандартизированному тестированию уже готовых спальных мешков на тепловом манекене, но не позволяет проектировать заданный уровень тепловой защиты. В России методика проектирования спальных мешков отсутствует.

Спальные мешки с пуховым наполнителем отличаются высокой тепловой защитой, компактностью при транспортировке. Пух – эффективный наполнитель для спального мешка. Его качество – наполняющую способность (Fill Power - FP), определяют по стандарту DIN EN 12130, однако вопросы соответствия измеренных параметров реальным свойствам пухового пакета в процессе эксплуатации, а также вопросы дозирования пуха по отсекам изделий с учетом ограничения по массе все еще недостаточно проработаны и требуют уточнений. До настоящего времени недостаточно изучены теплофизические свойства пуха при изменении температуры окружающей среды. Экономические ограничения определяют необходимость создания утепляющих материалов, аналогичных пуху по своим свойствам.

Вопросы проектирования спальных мешков, учитывающие свойства пуха, пуховых пакетов, особенности физиологических реакций человека и внешних условий являются актуальной задачей, решение которой обеспечит длительный отдых человека в экстремальных условиях холода во время сна.

Работа реализована с учётом основных направлений области исследований по научной специальности 2.6.16. «Технология производства изделий текстильной и лёгкой промышленности»: 2. Проектирование структуры и прогнозирование показателей свойств и качества волокон, нитей, материалов и ИТЛП; 12. Антропобиомеханические основы и закономерности в антропометрических данных для построения рациональной внутренней, внешней форм и деталей конструкции при проектировании ИТЛП в цифровой и реальной среде; 13. Разработка оптимальных структур, конструкций, материалов и ИТЛП для снижения затрат на организацию их производства, повышения качества продукции и оптимизации процесса работы технологического оборудования.

**Степень научной разработанности темы исследования.** Научную основу темы исследования составили работы Афанасьевой Р.Ф., Бринк И.Ю., Черуновой И.В., Колесникова П.А., Сурженко Е.Я., Ступакова А.А., Герасименко М.С. Вопросам исследования пуха, пуховой одежды посвящены работы Бекмурзаева Л.А., Лопатченко Т.П., Рукавишниковой А.С., Чижик М.А. Проектированием спальных мешков занимались Гайворонская В.В., зарубежные ученые Fuller M., Weiner, L.I., Holand B.

Существующие в настоящее время методики исследования спальных мешков не позволяют прогнозировать их тепловую защиту для заданных условий эксплуатации, научно-обоснованно рассчитывать количество пуха для заполнения пакетов изделий. Разработка методик проектирования спальных мешков с учетом свойств наполнителя, температуры окружающей среды позволит сохранить здоровье путешественникам в экстремальных условиях, что определяет актуальность данного направления исследований.

**Целью диссертационной работы является** разработка научно обоснованных методов проектирования спальных мешков с пуховым наполнителем, отвечающих требованиям эксплуатационного, гигиенического и экономического характера.

**Задачи работы** в рамках поставленной цели:

- на основе изучения коммерческого показателя качества пуха – наполняющей способности и реологических характеристик пакетов с пуховым наполнителем, установить взаимное соответствие между наполняющей способностью и требуемой плотностью заполнения пакетов пухом;
- разработать методику и прибор для определения термосопротивления пакетов изделий толщиной до 120 мм при температурном напоре до 75 °С;
- разработать на основе математического моделирования системы «человек – спальный мешок – окружающая среда» методику проектирования спальных мешков для заданных условий эксплуатации;
- разработать методику расчета распределения количества пуха по отсекам спального мешка;
- создать оборудование для производства утеплителей на основе композиционных смесей пуха и штапельных волокон, по свойствам аналогичных пуху.

**Научные исследования проведены** в период с 2017 по 2023 гг. на кафедре «Конструирование, технологии и дизайн» Института сферы обслуживания и предпринимательства (филиала) Донского государственного технического университета в г. Шахты в рамках базовой части государственного задания Министерства образования и науки РФ, проект № 5-18. ФТТ (2021 – 2022 гг.) на тему: «Развитие технологий и моделей мягких оболочек и объектов для текстильной и лёгкой промышленности на основе концепций инноватики»; «Разработка новой

технологии и создание производства высокотехнологичной сверхтеплой одежды (ниже минус 40 °С) для арктических условий эксплуатации» по соглашению № 020-11-2018-1143 от 20 декабря 2018 г.

**Объект исследования:** система «человек – спальный мешок – окружающая среда», спальный мешок, пакет с пуховым наполнителем, теплозащитная одежда, процессы теплового обмена человека.

**Предмет исследования:** теплофизические свойства пуха и пуховых пакетов, процессы теплового обмена человека в спальном мешке, модель тела человека.

**Методы и методология исследования.**

В процессе написания работы использованы:

– общенаучные теоретические методы исследования: изучение и обобщение литературных источников, научных журналов, трудов учёных, патентный анализ, комплексный анализ и системный подход в сопоставлении проблематики производства и научной работы, метод идеализации, методы математического моделирования и математической статистики, линейной аппроксимации, метод Стьюдента для расчёта доверительного интервала в программной среде Excel;

– экспериментальные методы: наблюдение и сравнение, эксперимент, метод моделирования, статистические методы обработки результатов по данным эксперимента, логический анализ.

Применялись программные продукты: Microsoft Office (Word, Excel, Power Point), Adobe Photoshop 2020, Mathcad 15, Paint 3D, САПР Julivi.

**Научная новизна** состоит в том, что в результате выполнения научного исследования впервые:

– экспериментально установлен коэффициент наполнения пакетов изделий пухом, который позволяет по показателю наполняющей способности рассчитать плотность заполнения пакетов пухом;

– впервые обоснован метод определения термосопротивления толстых пакетов с пуховым наполнителем при реальных тепловых напорах, соответствующих эксплуатации спальных мешков;

– обоснована и разработана методика расчета средней толщины спального мешка с необходимой тепловой защитой;

– разработаны математические модели «человек – спальный мешок – окружающая среда», которые позволили рассчитать среднюю толщину и оптимальное распределение толщины спального мешка по участкам тела человека;

– разработана методика расчета распределения пуха по отсекам изделия.

**Теоретическая значимость работы** заключается в том, что на основе физиологического отличия способа терморегуляции человека во сне и во время бодрствования разработана методика расчета требуемой тепловой защиты спального мешка.

**Практическая значимость** заключается в том, что:

- определена величина коэффициента наполнения, устанавливающего связь между наполняющей способностью пуха и требуемой плотностью заполнения им пакетов;
- разработан и внедрен в процесс производства прибор для определения термосопротивления толстых пакетов при тепловом напоре до 75 °С;
- разработана и внедрена методика расчета необходимой тепловой защиты спального мешка и оптимального распределения толщины пакета по участкам тела;
- разработана и внедрена методика расчета распределения пуха по отсекам спального мешка;
- разработано, запатентовано и внедрено в технологический процесс оборудование для производства несвязных композиционных материалов, аналогичных по свойствам пуху.

#### **Результаты работы, выносимые автором на защиту:**

- обоснованные результаты определения величины коэффициента наполнения изделий пухом, позволяющего установить связь между наполняющей способностью и требуемым количеством пуха для заполнения отсеков пакетов;
- обоснование необходимости измерения термосопротивления пакетов с пуховым утеплителем при тепловых напорах до 75 °С;
- методика расчета толщины спальных мешков, основанная на особенностях терморегуляции человека во время сна;
- математическая модель теплообмена в системе «человек – спальный мешок – окружающая среда»;
- алгоритм расчета заполнения отсеков спального мешка с двухуровневой нормировкой по массе.

**Автор отвечает за подлинность и достоверность** предоставленных данных, валидность и полноценность проведённых исследований и их результатов, которые подтверждаются методами сбора и обработки данных, выборками исследований, полученных эмпирическим путём с применением современного программного обеспечения для обработки полученных результатов, соответствием результатов экспериментальных исследований теоретическим расчётам, результатам натуральных испытаний, внедрением отдельных положений диссертации в образовательный процесс, а также актами внедрения в ООО «БАСК».

**Апробация работы и реализация результатов исследования.** Основные результаты диссертационной работы докладывались, обсуждались и получили положительную оценку на: международной научно-практической конференции «Наука сегодня: проблемы и перспективы развития» г. Вологда, 28 ноября 2018 г.; 35-й Международной научной конференции Евразийского Научного Объединения Москва, январь 2018г.; Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Лёгкая промышленность и сфера сервиса: проблемы и перспективы. Материалы» в Омске, 24-25 ноября 2020 г.; на второй международной

научно-практической конференции «Приоритетные направления инновационной деятельности в промышленности» 28-29 февраля 2020 г.

Методика расчета спальных мешков внедрена на ООО «БАСК»; опытное использование спальных мешков осуществлялось во время полярных экспедиций и альпинистский восхождений 2017 – 2022 гг. Измерительный комплекс БаскАрктик для определения термосопротивления пакетов большой толщины при температурном напоре до 75 °С, оборудование для производства несвязных композиционных утеплителей используется в ООО «БАСК».

**Личный вклад автора.** Соискателем сформулированы цель и основные задачи исследования, проведена систематизация литературных данных по тематике исследований, выбраны методы теоретических и экспериментальных исследований, разработаны методики и реализованы программы испытаний, выполнены основные лабораторные исследования и натурные испытания.

**Публикации.** По результатам научного исследования опубликовано 16 печатных работ, в том числе: в научных рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК – 4, в изданиях, включенных в наукометрические базы данных Scopus – 2, РИНЦ – 4, также изданы 2 монографии и получены 2 патента Российской Федерации.

**Структура и объём работы.** По своей структуре диссертация состоит из введения, 6-ти глав, выводов по главам и работе в целом, списка литературы 161 источник. Диссертация содержит 199 страниц основного текста, 52 рисунка, 30 таблиц, список литературы из 163 наименований, 9 приложений.

## СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность темы работы, сформулированы цель и задачи исследования, отражены научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, приведены использованные методы исследований, апробация и внедрение результатов.

**В первой главе** представлен комплексный анализ проблем, возникающих при проектировании и производстве спальных мешков. Установлено, что не существует научно обоснованного выбора коэффициента наполнения изделий пухом, устанавливающего взаимозависимость между коммерческим показателем качества пуха – наполняющей способностью пуха (Fill Power, FP) и требуемой плотностью заполнения изделий пухом. Выявлена необходимость создания прибора, позволяющего измерять термосопротивление пакетов спальных мешков большой толщины при температурных напорах до 75 °С. Рассмотрен класс несвязных утеплителей, подобных пуху, и определены направления дальнейшего совершенствования такого рода наполнителей. Обсуждено современное нормативно-техническое обеспечение проектирования и сертификации спальных мешков. Установлено, что применение существующих методик для проектирования

одежды для защиты от холода не в полной мере может быть использовано для проектирования спальных мешков. Выявлены необходимые для реализации вопросы нормирования и распределения пухового наполнителя по отсекам спальных мешков.

**Во второй главе** проведены экспериментальные исследования, которые позволили определить соотношение между коммерческим показателем качества пуха – наполняющей способностью, измеренной в соответствии с международным стандартом EN 12130 и реологическими характеристиками заполненного пухом пакета.

Детально исследовано послойное изменение динамики сжатия пуха в процессе измерения FP. Диаметр цилиндра (241 мм), навеска пуха (28,4 г) и нагрузка плунжера (14,8 Па) соответствовали стандарту IDFL. Для увеличения наглядности эксперимента в цилиндре, заполненном массой аэрированного белого гусиного пуха, были расположены 12 меток из серых пушинок гагачьего пуха, которые были пронумерованы так, как это изображено на рисунке 1 при  $t=0$  с.

Упругая деформация (рисунок 2)  $i$ -того слоя пуховой массы, характеризуемая относительным изменением интервала между метками, в момент времени  $t$  может быть определена по формуле:

$$\varepsilon_i^t = \frac{\delta_i^t}{\delta_i^0}, \quad (1)$$

где:  $\varepsilon_i^t$  – упругая деформация  $i$ -того слоя пуховой массы, находящейся между  $i$  и  $i-1$  метками в момент времени  $t$ ,  $i = 1 \dots 12$ ;

$\delta_i^t$  – интервал между  $i$  и  $i-1$  метками в момент времени  $t$ ,  $i = 1 \dots 12$ ;

$\delta_i^0$  – интервал между  $i$  и  $i-1$  метками в момент времени  $0$ ,  $i = 1 \dots 12$ ;

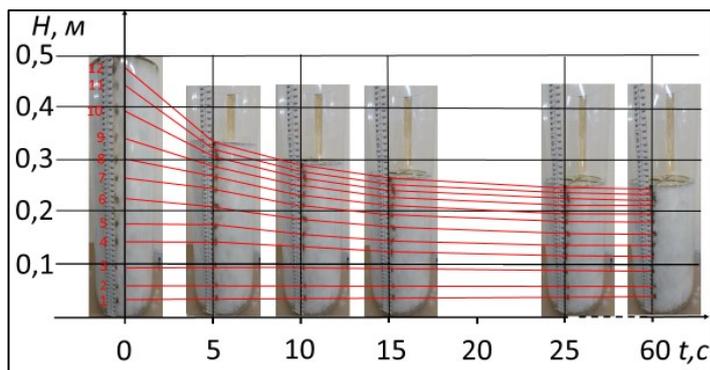


Рисунок 1 – Послойное изменение положения меток в процессе сжатия пуховой массы в цилиндре

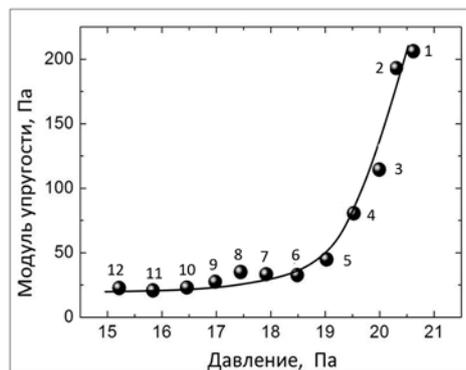


Рисунок 2 – Послойное изменение модуля Юнга пуховой массы при одноосном сжатии в цилиндре

Модуль Юнга послойно изменяется практически в 10 раз в диапазоне давлений от 14,8 Па в верхней части цилиндра до 20,5 Па в нижней части. Нелинейная деформация пуховой массы в процессе сжатия объясняется следующими факторами: одноосным выдавливанием воздуха из массы пуха через плунжер, трибоэлектрическим и механическим трением о стенки цилиндра,

кажущейся вязкостью пуховой массы. В таблице 1 представлены усредненные величины модуля Юнга, определенные для двухслойных пакетов и цилиндра, заполненных пухом различных видов птицы.

Таблица 1. Величины модуля Юнга ( $E_0$ ) для двухслойных пуховых пакетов и навески пуха в цилиндре

Вид пуха	FP	Пакет				Цилиндр			
		$m_{п, г}$	$h_{0п, см}$	$h_{1п, см}$	$E_0, Па$	$m_{п, г}$	$h_0, см$	$h_1, см$	$E_0, Па$
Гусь	900	41,0	6	4,6	63,00	28,35	50	25	29,4
Утка	500	70,1	6	4,1	46,42	28,35	31	13	25,3
Гага	650	63,2	6	4,3	51,88	28,35	35	17	28,6
Казарка	550	68,4	6	3,95	43,02	28,35	30	14,5	28,4
Средняя величина модуля Юнга					51,08				27,9

Таким образом, для расчета плотности наполнения пуха в пакете следует внести коэффициент коррекции наполнения  $K_n = 51,08/27,9=1,83$ .

В зависимости от ширины переборок толщина двухслойного пакета может изменяться. На рисунке 3 представлено сечение пакетов, заполненных пухом с одинаковой плотностью с переборками различной ширины. Когда переборка уменьшена, видимая толщина выпуклого пакета  $\delta_{вып}$  становится больше толщины плоского пакета  $\delta_{пл}$ , что влияет на общее термосопротивление.

В таблице 2 представлены измеренные величины термосопротивлений пакетов с различными видами пуха с переборками толщиной 2,8 и 6 см.

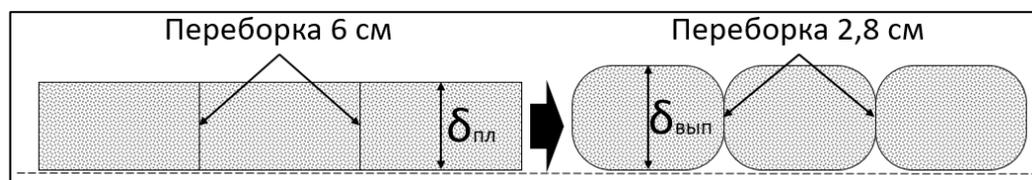


Рисунок 3 – Изменение сечения пакета при уменьшении ширины переборок

Таблица 2. Основные параметры двухслойных пакетов с переборками шириной 6 и 2,8 см и величина измеренного термосопротивления

Ширина переборки, см	Дополнительный слой	Пух	FP	Толщина пакета $\delta$ , см	Термосопротивление, $R, ^\circ C \cdot m^2 / Вт$
1	2	3	4	5	6
6	-	Гага	650	3,73	0,970
6	-	Утка	500	3,77	1,021
6	-	Казарка	550	3,25	0,874
6	-	Гусь	900	2,67	0,783
Средний показатель				3,36	0,912
2,8	Покровная ткань	Гага	650	3,98	1,172
2,8	Покровная ткань	Утка	500	3,53	0,937
2,8	Покровная ткань	Гусь	900	3,49	0,910
2,8	Покровная ткань	Казарка	550	3,57	0,965
Средний показатель				3,64	0,996

Толщина пакета с уменьшенной переборкой при одинаковой плотности заполнения возрастает приблизительно на 9%, соответственно и термосопротивление пакета увеличивается приблизительно на 9%. Следовательно, можно скорректировать коэффициент наполнения в меньшую сторону на 9%. Таким образом, мы определили границы коэффициента наполнения  $K_H=1,67 - 1,83$ . Учет кривизны свернутого пакета может уменьшить  $K_H$  до 1,34.

**В третьей главе** с целью тестирования одежды и спальных мешков разработан прибор для определения термосопротивления.

Спальный мешок для температуры комфорта до минус 24 °С имеет толщину пакета 14 см. Плотность заполнения пакетов высококачественным пухом составляет 3-4 кг/м<sup>3</sup>, что сопоставимо с плотностью воздуха 1,03 кг/м<sup>3</sup>. Коэффициент теплопроводности воздуха зависит от температуры. Разработанный прибор БаскАрктик позволяет измерить термосопротивление изделия толщиной до 14 см при температурном напоре до 75 °С (от +35 до -40 °С). Конструктивные особенности прибора представлены на рисунке 4.

В процессе калибровки прибора БаскАрктик было проведено сравнение результатов измерения термосопротивления пакетов с результатами, полученными по ГОСТ 20489 (рисунок 5). Более крутой рост термосопротивления при увеличении толщины, связан с учетом роста термосопротивления воздуха при низких температурах.

Прибор используется на производстве ООО «БАСК».

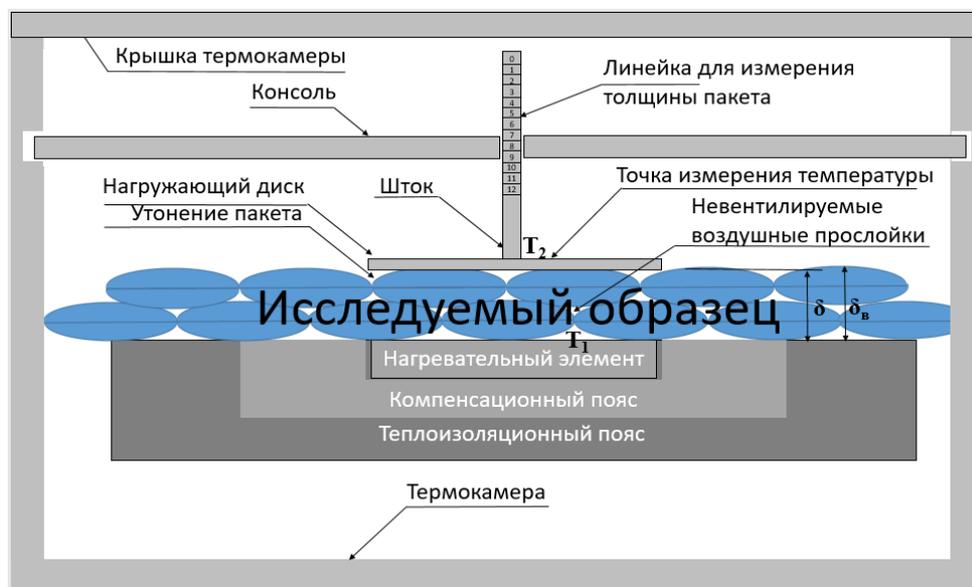


Рисунок 4 – Конструктивные особенности прибора БаскАрктик для измерения термосопротивления толстых пакетов при температурном напоре до 75 °С

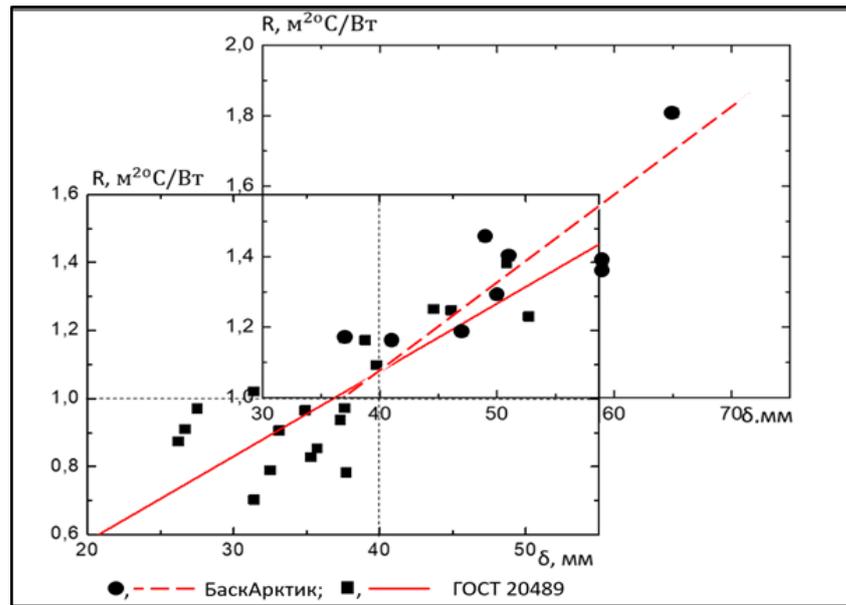


Рисунок 5 – Сравнительные результаты измерения термосопротивления пакетов по ГОСТ 20489 и на приборе БаскАрктик

**В четвёртой главе** разработана методика проектирования тепловой защиты спального мешка, которая опирается на следующие исходные положения:

- низкий уровень теплопродукции человека во время сна, равный величине основного обмена,  $q_o$ , Вт/м<sup>2</sup>;
- инстинктивное изменение теплоотдачи с поверхности тела во время сна. Человек сворачивается «калачиком» для того, чтобы уменьшить тепловую отдачу.

1. Поскольку площадь испарения и теплоотдачи с поверхности тела человека, лежащего в спальном мешке в «позе сна» – с руками вдоль туловища и прижатыми друг к другу ногами,  $S_n = 0,71S$ , м<sup>2</sup>, где  $S$  – площадь поверхности тела обнаженного человека по Дюбуа имеет вид:

$$q_o S = q_{к,дых} S + q_{исп,дых} S + q_{исп,к} S_{п} + q_{пс} S_{п}, \quad (2)$$

где:  $q_{пс}$  – средняя плотность сухого теплового потока с поверхности тела человека в позе сна, Вт/м<sup>2</sup>.

2. Величина тепловых потерь конвекцией при дыхании  $q_{исп,дых}$ , Вт/м<sup>2</sup>, определяется согласно МР 2.2.8.2127-06 по формуле:

$$q_{исп,дых} = 0,0173 q_m (P_{выд} - P_v), \quad (3)$$

где:  $P_{выд}$  – давление насыщенного водяного пара при температуре выдыхаемого воздуха ( $T_{выд}$ ), кПа;

$P_v$  – давление водяного пара в атмосфере при соответствующей температуре воздуха  $T_v$ , кПа;

3. Теплопотери испарением с поверхности тела человека в спальном мешке ведется по формуле Фангера, которая не зависит от площади тела  $S$ :

$$q_{исп,к} = 3,06 \times 10^{-3} (256T_k - 3360 - P_a), \quad (4)$$

где:  $P_a$  – парциальное давление пара в воздухе вблизи тела человека при температуре кожи, Па;

$T_k$  – средневзвешенная температура кожи, °С.

4. Определение средней плотности сухого теплового потока с поверхности тела человека в позе сна в спальном мешке.

Расчет ведется по формуле (5), полученной после преобразования формулы (2):

$$q_{пс} = \frac{(q_o - q_{к,дых} - q_{исп,дых}) \times S - q_{исп,к} \times S_{п}}{S_{п}} \quad (5)$$

5. Термосопротивление пакета спального мешка  $R_k$ , м<sup>2</sup>·°С/Вт, вычисляют по формуле:

$$R_k = (T_k - T_b) / q_{пс}, \quad (6)$$

где:  $T_k$  – средневзвешенная температура кожи, °С;

$T_b$  – температура окружающей среды, °С;

$q_{пс}$  – средневзвешенное значение теплового потока в позе сна, Вт/м<sup>2</sup>.

6. Средняя толщина спального мешка сопоставима с величиной радиуса кривизны туловища человека, поэтому вводится корректировка при помощи коэффициента формы. Средняя толщина цилиндрического пакета спального мешка,  $\delta_{ц}$ , м, определяется с учетом безразмерного коэффициента формы,  $K_{ф}$ :

$$\delta_{ц} = \frac{R_k \times \lambda}{K_{ф}}, \quad (7)$$

Формулы (2-7) представляют математическую модель методики расчета толщины спального мешка, реализованную на платформе Excel. Для проверки разработанной методики использованы результаты тестирования 4-х готовых спальных мешков в соответствии со стандартом EN 13537. По результатам тестирования была определена температура комфорта этих спальных мешков: плюс 2, минус 7, минус 13, минус 24 °С, а также был произведен расчет толщины пакета спальных мешков, обеспечивающей условия комфорта для указанных температур. Исходные данные для расчета пакета спального мешка представлены в таблице 3.

Таблица 3. Исходные данные для расчета толщины пакета

Параметр	$T_k, \text{ }^\circ\text{C}$	$q_m = q_o, \text{ Вт/м}^2$	$S, \text{ м}^2$	$S_n, \text{ м}^2$	$W, \text{ т/м}^2$	$\lambda, \text{ Вт/(мК)}$	$\Delta q_{т.с}, \text{ Вт/м}^2$
Значение	33,34	40	1,8	1,278	0	0,040	0

Результаты сравнения расчетных и измеренных толщин спальных мешков, протестированных по EN 13537, представлены в таблице 4.

Таблица 4. Расчетные и измеренные параметры спальных мешков

Параметр спального мешка	Наименование спального мешка			
	Trekking V2	Mustang V2	Karakorum	Kashgar
$T_c$ – температура комфорта, °С	+2	-7	-13	-24
$\delta_s$ – измеренная толщина пакета в области груди, м	0,06	0,10	0,11	0,14
$\delta$ – расчетная толщина пакета с учетом кривизны пакета, м	0,06	0,09	0,10	0,14

На рисунке 6 представлены зависимости расчетной толщины пакета при оговоренных ранее значениях коэффициента эффективности утепления и толщины спальных мешков, тестированных по EN 13537 для температур комфорта, равных плюс 2, минус 7, минус 13, минус 24 °С.

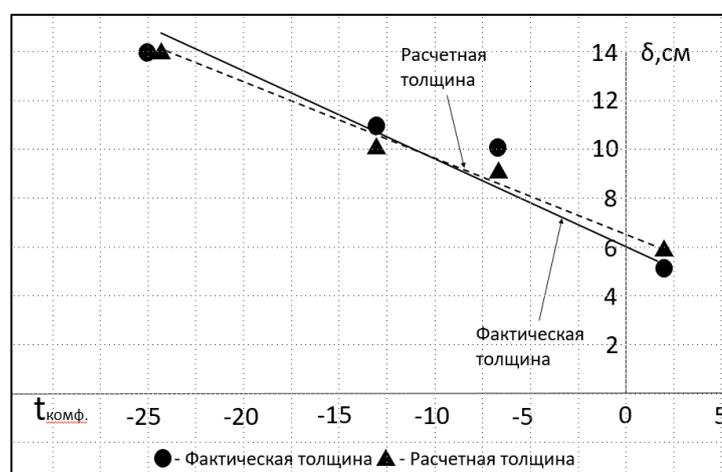


Рисунок 6 – Зависимость толщины пакета пухового спального мешка от температуры для комфортных условий сна. Фактическая толщина измерялась для спальных мешков, тестированных по EN 13537

В результате оптимизации распределения тепловой защиты с использованием оптимизационной математической модели системы «человек – спальный мешок – окружающая среда» при условии неизменного общего объема утеплителя установлены коэффициенты утепления отдельных частей тела человека в позе сна: руки прижаты к туловищу, ноги вместе (таблица 5).

Таблица 5. Распределение толщины пакета по участкам тела

Коэффициент эффективности утепления	Части тела.			
	Голова	Туловище	Бедро	Голень
$K_{эфф.}$	0,92	1,075	1	0,975

**В пятой главе** представлен расчет построения конструкции спального мешка и разработана методика расчета распределения пуха по отсекам изделий на основе двукратной нормировки количества пуха: при распределении по деталям и при перераспределении по отсекам деталей.

Расчет количества пуха в спальном мешке производится в следующей последовательности:

1. Задаются температура эксплуатации, °С, комфортная температура кожи, °С, общие энергозатраты организма, Вт/м<sup>2</sup>, площадь поверхности обнаженного человека, м<sup>2</sup>, наполняющая способность пуха, Inch<sup>3</sup>/oz, коэффициент наполнения пухом.

2. Используя формулы (2-7) получаем среднюю толщину спального мешка.

3. На основании данных о необходимой толщине спального мешка для заданной температуры с учетом необходимых припусков и прибавок строится конструкция деталей спального мешка – спинка, полочка, дно и капюшон.

4. Далее определяется площадь каждой детали, осуществляется разметка деталей на отсеки, определяется площадь каждого отсека.

5. Расчет количества пуха в спальном мешке делается на основе данных о средней толщине спального мешка, площади всех набиваемых деталей спального мешка, наполняющей способности пуха (FP) и коэффициента наполнения  $K_n$ . Это количество пуха в спальном мешке в дальнейшем остается неизменным. Перераспределение пуха по деталям спального мешка осуществляется с учетом назначения конкретной детали (рисунок 7) и определяется на основе экспертной оценки.

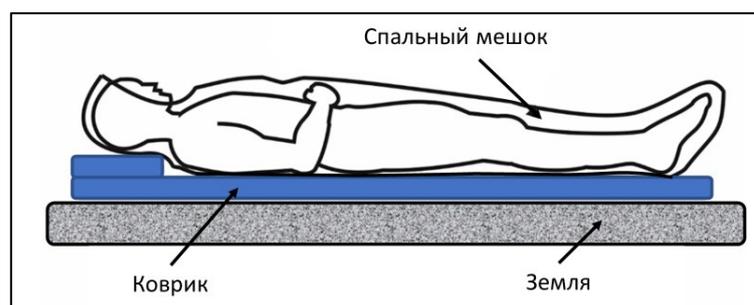


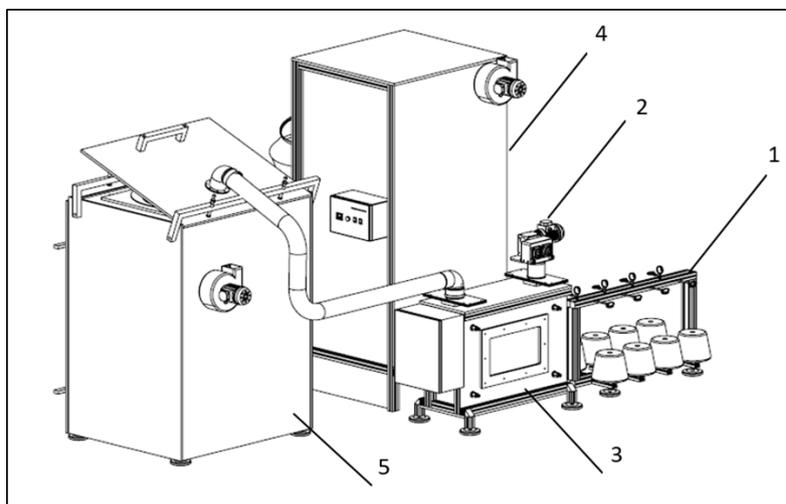
Рисунок 7 – Распределение толщины пакета спального мешка во время его эксплуатации. Теплоизоляция спинки спального мешка во время его эксплуатации дополняется полиуретановым ковриком

6. Расчет распределения пуха по отсекам каждой детали спального мешка осуществляется с учетом коэффициентов эффективности утепления (таблица 5) эксплуатационных особенностей деталей изделия и площади отсека.

На каждом этапе перераспределения пуха осуществляется нормировка рассчитанной массы пуха, так, чтобы вес пуха, рассчитанный по средним данным, не менялся.

**В шестой главе** представлено описание изобретения на способ производства двухкомпонентных утеплителей с характеристиками, близкими к натуральному пуху водоплавающей птицы и предназначенными для изготовления одежды и спальных мешков. Разработан способ получения несвязного композиционного двухкомпонентного утеплителя, согласно которому осуществляют

аэродинамическое смешивание двух компонент, одной из которых является пух. Способ представляет собой единый непрерывный технологический процесс, при котором в качестве волокнистой компоненты несвязного композиционного материала используют штапели шерстяной или синтетической пряжи. На рисунке 8 представлен автоматизированный комплекс, реализующий способ получения несвязного композиционного утеплителя.



- 1 – шпулярник;
- 2 – устройство резки;
- 3 – активатор смеситель;
- 4 – растариватель пуха;
- 5 – затариватель для несвязного композиционного утеплителя

Рисунок 8 – Схематичное представление автоматизированного комплекса для получения несвязного композиционного двухкомпонентного утеплителя

### ОБЩИЕ ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

1. На основе проведенных экспериментов с основными видами пуха водоплавающих птиц установлено, что коммерческий показатель качества пуха – наполняющая способность (FP) не может напрямую использоваться для расчета плотности заполнения изделий пухом, поскольку конструкция тест-системы имеет априорные погрешности, искажающие физический смысл результат измерения: трение массы пуха о стенки измерительного стакана, одноосное выдавливание воздуха из массы пуха.

2. В результате исследования теплофизических и физико-механических свойств пакетов, заполненных различными видами пуха, уточнены границы и тенденции изменения коэффициента наполнения –  $K_n$ , который позволяет рассчитать необходимую плотность заполнения пухом изделий.

3. Разработана методика и установка «БаскАрктик» для измерения термосопротивления пуховых пакетов толщиной до 120 мм при тепловом напоре до 75 °С, что позволяет оценивать тепловую защиту пакетов и изделий в реальных условиях эксплуатации до минус 40 °С с учетом снижения коэффициента теплопроводности воздуха, заполняющего пакет пухового изделия, при уменьшении температуры.

4. Разработана математическая модель расчета толщины спального мешка в зависимости от заданной температуры эксплуатации. Установлено соответствие

результатов расчета толщины пакета с результатами тестирования спальных мешков по методике EN 13537.

5. Разработана математическая модель, позволяющая рассчитать коэффициенты эффективности утепления отдельных частей тела человека, находящегося в спальном мешке в позе сна: руки вдоль туловища, ноги вместе.

6. Разработана методика расчета распределения пуха по отсекам деталей спального мешка с учетом коэффициента наполнения, коэффициента перераспределения и коэффициентов эффективности утепления, которая позволяет автоматизировать процессы расчета.

7. Разработан и запатентован способ получения несвязных композиционных утеплителей на основе смеси пуха со штапельными волокнами. Аппаратный комплекс, реализующий способ, внедрен на предприятии ООО «БАСК».

## **РЕКОМЕНДАЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ**

1. Результаты работы рекомендуется использовать в учебном процессе вузов, осуществляющих подготовку бакалавров и магистров по направлениям «Конструирование изделий легкой промышленности» и «Технология изделий легкой промышленности», на предприятиях, выпускающих пуховую одежду и пуховые спальные мешки. Разработанные методики могут быть положены в основу цифровой трансформации проектно-производственных процессов предприятий, производящих изделия с пуховым наполнителем.

2. Предлагаемые теоретические подходы и результаты экспериментальных исследований могут быть использованы для проектирования спальных мешков и отчасти одежды с пуховым наполнителем.

## **ПУБЛИКАЦИИ, ОТРАЖАЮЩИЕ ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ**

### **Статьи в журналах, индексируемых в базе Scopus:**

1. Бринк И.Ю., Богданов В.Ф., Куренова С.В. Исследование метода определения наполняющей способности пуха для швейных изделий. Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2021. № 2 (392). С. 38-41

2. Богданов В.Ф., Ширшова Е.Е., Колесник С.А., Бринк И.Ю. Разработка методики расчета толщины пакета спального мешка при заданных условиях эксплуатации. Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2021. № 3 (393). С. 51-56.

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

1. Колесник С.А., Ширшов Е.Е., Бринк И.Ю., Богданов В.Ф. Разработка способа получения несвязного двухкомпонентного утеплителя при производстве теплозащитной одежды и снаряжения. Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности. 2021. Т. 52. № 2. С. 17-21.

2. Богданов В.Ф., Романенко В.И., Бринк И.Ю. Теплофизические основы инженерного расчёта толщины пакета спального мешка. Инженерный вестник Дона. 2018. № 1 (48). С. 6.

3. Бринк И.Ю., Богданов В.Ф., Романенко В.И. Стандартизация спальных мешков: современные реалии. Стандарты и качество. 2017. № 8. С. 38-41.

4. Колесник С.А., Ширшов Е.Е., Богданов В.Ф., Горчаков В.В., Бринк И.Ю. Методика исследования термосопротивления пакетов материалов для теплозащитного снаряжения. Дизайн. Материалы. Технология. 2020. № 2 (58). С. 110-113.

#### **Материалы научно-технических конференций различных уровней:**

1. Колесник С.А., Ширшов Е.Е., Богданов В.Ф., Бринк И.Ю. исследование реологических характеристик образцов несвязного композиционного утеплителя на основе компонент гусиный пух/шерсть. В сборнике: Лёгкая промышленность и сфера сервиса: проблемы и перспективы. Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Омск, 2020. С. 31-34

2. Бринк И.Ю., Колесник С.А., Богданов В.Ф., Куренова С.В. механизмы расслоения компонент в пакете одежды с несвязным композиционным утеплителем в процессе ее эксплуатации. В сборнике: Приоритетные направления инновационной деятельности в промышленности. сборник научных статей по итогам второй международной научной конференции. 2020. С. 26-29.

3. Романенко В.И., Богданов В.Ф., Бринк И.Ю. Исследование наполняющей способности различных видов пуха. Наука сегодня: проблемы и перспективы развития [Текст]: материалы международной научно-практической конференции.: в 2 частях. Часть 1. – Вологда: ООО «Маркер», 2018. – 120 с.

4. Богданов В.Ф., Бринк И.Ю. Исследование термосопротивления двухслойных пуховых пакетов. Евразийское Научное Объединение. 2018. № 1-1 (35). С. 21-23.

#### **Патенты:**

1. Пат. 2724154 С1, 22.06.2020. Заявка № 2020105837 от 07.02.2020. Способ получения волокнистой компоненты несвязного композиционного утеплителя. Бринк И.Ю., Колесник С.А., Богданов В.Ф., Ширшов Е.Е.

2. Пат. 2735772 С1, 09.11.2020. Заявка № 2020116308 от 29.04.2020. Способ получения несвязного композиционного двухкомпонентного утеплителя. Богданов В.Ф., Бринк И.Ю., Горчаков В.В., Колесник С.А., Ширшов Е.Е.

#### **Монографии:**

1. Бринк, И.Ю. Несвязные утеплители: монография / И.Ю. Бринк, М.А. Гончарова, В.Ф. Богданов, В.И. Романенко, Е.Е. Ширшов, С.А. Колесник. – Новочеркасск: Лик, 2019. – 82 с.: ил. (6,5 п.л. / 1,07 п.л.).

2. Бринк, И.Ю. Основы проектирования тепловой защиты аутдор-снаряжения: монография / И.Ю. Бринк, В.Ф. Богданов, С.А. Колесник, под ред. С.А. Колесник; ИСОиП (филиал) ДГТУ в г. Шахты. – Новочеркасск: Лик, 2016. – 82 с.: ил.

**БОГДАНОВ ВЛАДИМИР ФЕДОРОВИЧ**

**РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И КОНТРОЛЯ  
ТЕПЛОВОЙ ЗАЩИТЫ СПАЛЬНЫХ МЕШКОВ С ПУХОВЫМ  
УТЕПЛИТЕЛЕМ.**

Научная специальность: 2.6.16. Технология производства изделий текстильной  
и лёгкой промышленности

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание учёной степени  
кандидата технических наук

Подписано в печать \_\_\_\_\_ г. Формат бумаги 60×90/16.  
Усл. печ. л. 1,5. Тираж 110 экз. Заказ № 300.

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