

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ
АРМЕНИЯ**

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ АРМЕНИИ

МАНАСЯН НАИРА КНЯЗЕВНА

**ВЛИЯНИЕ ВНЕШНИХ ФАКТОРОВ НА ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ
СВОЙСТВА ТЕКСТИЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ И РАЗРАБОТКА МЕТОДА
ИХ ОЦЕНКИ**

ДИССЕРТАЦИЯ

**на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.19.01 –
“Материаловедение, товароведение и технология легкой промышленности”**

Научный руководитель

к.т.н., доцент З. А. Минасян

ЕРЕВАН 2016

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
ГЛАВА 1. АНАЛИЗ ДАННЫХ ПО ОЦЕНКЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТЕКСТИЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ	9
1.1. Анализ сорбционных свойств текстильных изделий.....	9
1.2. Анализ теплозащитных свойств текстильных изделий.....	19
1.3. Влияние влажности и воздухопроницаемости материалов на их теплозащитные свойства.....	27
ВЫВОДЫ	36
ГЛАВА 2. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ	37
2.1. Организация и порядок проведения экспериментальных исследований	37
2.2. Установка для экспериментальной оценки теплозащитных свойств одежды под влиянием факторов внешней среды	41
2.3. Прибор для определения локальных теплотерь с поверхности тела человека.....	45
2.4. Градуировка терморезисторов для исследования влияния факторов внешней среды на теплозащитные свойства одежды	48
2.5. Выбор определяющих факторов внешней среды, воздействующих на теплозащитные свойства одежды	52
2.6. Выбор и обоснование пакетов материалов для теплозащитной одежды	55
ВЫВОДЫ	63
ГЛАВА 3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ТЕПЛОЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ ОДЕЖДЫ ПО МЕТОДУ РЕГУЛЯРНОГО ТЕПЛООВОГО РЕЖИМА С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ ФАКТОРОВ ВНЕШНЕЙ СРЕДЫ	65

3.1. Экспериментальная оценка теплозащитных свойств одежды переходного периода года под воздействием факторов внешней среды по методу регулярного режима охлаждения.....	65
3.2. Экспериментальная оценка теплозащитных свойств одежды холодного периода года под воздействием факторов внешней среды по методу регулярного режима охлаждения.....	79
ВЫВОДЫ.....	93
ГЛАВА 4. ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОПОТЕРЬ С ПОВЕРХНОСТИ ТЕЛА ЧЕЛОВЕКА В ОДЕЖДЕ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЕЕ ТЕПЛОЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ	94
4.1. Экспериментальная оценка суммарного теплового сопротивления теплозащитной одежды и теплопотерь с поверхности манекена (человека) в одежде под воздействием факторов внешней	94
4.2. Экспериментальное исследование телозащитных свойств одежды при различных положениях манекена относительно внешней среды и сочетаниях ее факторов	117
ВЫВОДЫ	126
ГЛАВА 5. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ ТЕПЛОЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ ОДЕЖДЫ С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ ФАКТОРОВ ВНЕШНЕЙ СРЕДЫ.....	127
5.1. Оценка теплозащитных функции одежды под воздействием параметров внешней среды	127
5.2. Результаты оценки теплозащитных свойств одежды с учетом параметров внешней среды по разработанной модели	132
ВЫВОДЫ	136
ОБЩИЕ ВЫВОДЫ	137
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	139
ПРИЛОЖЕНИЕ	149

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы. Повышение производительности труда, выпуск высококачественных и конкурентоспособных текстильных и кожгалантерейных изделий (одежды, обуви, перчаток, головных уборов и т.д.) разного вида, назначения и условий эксплуатации для всех социальных групп населения являются важнейшими и ответственными задачами, стоящими перед легкой промышленностью любой страны, в том числе и республики Армения. Успешное решение этих задач зависит не только от процесса изготовления указанных изделий, но и от процесса их проектирования, так как на этом этапе закладываются все те количественные и качественные характеристики изделий, которые в конечном итоге определяют их технико-экономические, качественные и конкурентоспособные характеристики.

Требования, предъявляемые к современным текстильным и кожгалантерейным изделиям могут быть разделены на две различные по характеру и содержанию группы:

- первую группу составляют требования, направленные на формирование потребительских свойств и качеств изделий;
- вторую группу составляют промышленно-экономические требования к изделиям, которые направлены на обеспечение высокого качества их изготовления при минимальных трудовых и материальных затратах.

В ассортименте текстильных изделий наибольший удельный вес занимает одежда, которая в основном будет объектом исследования в диссертационной работе. Наиболее обширной является группа требований к одежде как предмету потребления. В нее входят функциональные, художественно-эстетические, эргономические, гигиенические, механические и другие требования.

Производство и эксплуатация одежды связаны с воздействием на материалы скорости движения, влажности и температуры внешней среды, расположения тела человека относительно внешней среды и т.д. Анализ опубликованных работ показывает, что авторы исследований в основном рассматривают воздействие отдельных факторов внешней среды на материалы одежды и их пакеты.

В настоящее время отсутствуют исследования, в которых рассмотрено одновременное воздействие основных факторов на материалы одежды и их пакеты, хотя и в реальных условиях производства и эксплуатации одежды эти факторы действуют одновременно. Одежда является барьером, изолирующим организм человека от неблагоприятных воздействий внешней среды: температуры, скорости движения, влаги, солнечной радиации и т.д. Поэтому учет одновременного действия различных внешних факторов на теплофизические (теплозащитные) свойства одежды является весьма актуальной научно – технической задачей.

Объектами исследования диссертационной работы являются текстильные изделия - в основном одежда.

Предметом исследования являются теплозащитные свойства материалов одежды и одежды в целом, под воздействием факторов внешней среды, а именно: температуры, скорости движения, влажности и расположения тела человека относительно среды.

Цель и задачи исследования

Целью диссертационной работы является экспериментальное исследование одновременного воздействия основных факторов внешней среды на теплозащитные свойства одежды и разработка метода оценки этого воздействия.

Для достижения поставленной цели в диссертационной работе поставлены и решены следующие задачи:

- провести обзор и анализ литературных данных по влиянию отдельных факторов внешней среды на теплозащитные свойства одежды;
- выявить основные факторы внешней среды, оказывающие наибольшее влияние на теплозащитные свойства одежды методом априорного ранжирования;
- спроектировать и изготовить экспериментальную установку для исследования влияния отдельных факторов (температуры, скорости ветра и влажности внешней среды, а также расположения тела человека относительно среды) на теплозащитные свойства одежды;

- провести выбор и обоснование пакетов материалов теплозащитной одежды для переходного и холодного периодов года для экспериментальных исследований,
- исследовать одновременное влияние температуры, скорости движения, влажности внешней среды и расположения тела человека относительно среды на теплозащитные свойства одежды и выявить закономерности изменения этих свойств от указанных факторов;
- разработать математическую модель оценки теплозащитных свойств одежды при одновременном воздействии факторов внешней среды.

Методы исследования. В работе использованы методы теории проведения экспериментов, теории вероятностей и математической статистики, методы математического моделирования, программирования и оптимизации.

Научная новизна работы. В процессе исследования получены результаты, отличающиеся существенной новизной.

- спроектирована и изготовлена установка, позволяющая проводить быструю оценку теплозащитных свойств одежды под воздействием температуры, влажности, скорости движения внешней среды и расположения тела человека относительно среды;
- получены уравнения, описывающие зависимость между влажностью пакета материалов теплозащитной одежды и относительной влажностью внешней среды;
- разработана методика оценки теплозащитных свойств одежды переходного и холодного периодов года с учетом влияния факторов внешней среды на этой установке;
- получены зависимости этих свойств от факторов внешней среды;
- определена теплоотдача от наружной поверхности теплозащитной одежды переходного периодов года под воздействием факторов внешней среды;
- разработана математическая модель, позволяющая проводить оценку теплозащитных свойств одежды с учетом влияния факторов внешней среды.

Практическая значимость работы. Разработанная методика и установка использованы в экспериментальных исследованиях теплозащитных свойств одежды для переходного и холодного периодов года с учетом факторов внешней среды в ООО «Армтекс Групп» (г. Гюмри). Результаты экспериментальных исследований и разработанная математическая модель дают возможность быстро и с достаточной точностью определить теплозащитные свойства различных пакетов материалов одежды с учетом влияния факторов внешней среды. Теоретические и экспериментальные исследования выполнены в рамках финансируемой из госбюджета РА договорной работы тематического финансирования исследований аспирантов и соискателей (тема 14А-2к59, 2013 г.). Предложенные методики, математическая модель и результаты диссертационной работы могут быть использованы также при дальнейших исследованиях, в экспериментальных лабораториях легкой промышленности, а также в учебном процессе.

Основные положения выносимы на защиту.

- экспериментальная установка для оценки теплозащитных свойств одежды под воздействием факторов внешней среды,
- методика оценки теплозащитных свойств одежды на разработанной установке,
- результаты выбора основных факторов внешней среды, оказывающих наибольшее влияние на теплозащитные свойства одежды,
- результаты экспериментальной оценки теплозащитных свойств одежды при одновременном воздействии факторов внешней среды,
- результаты экспериментальных исследований теплоотдачи от наружной поверхности теплозащитной одежды для переходного и холодного периодов года, под воздействием факторов внешней среды,
- значения коэффициентов теплоотдачи от наружной поверхности теплозащитной одежды при различных положениях тела человека относительно внешней среды, ее температурах, скоростях движения и влажностях.
- математическая модель и алгоритм оценки теплозащитных свойств одежды с учетом влияния факторов внешней среды.

Апробация работы. Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на:

- Международной научно-практической конференции “Современные технологии и прикладной дизайн” Государственного университета им. А. Церетели (г. Кутаиси, Грузия, 2011г.)
- ежегодной научной конференции НПУА (Ереван, Армения, 2012г. - 2014г.)
- научных семинарах кафедры “Текстильная инженерия” Гюмрийского филиала НПУА (2012г. - 2015г.)
- XXXVI международной заочной научной конференции “Research Journal of International Studies” (г. Екатеринбург, РФ, 2015).
- V международной научно-практической конференции «Молодой ученый: Вызовы и перспективы» (г. Москва, РФ, 2016).

Публикации. По теме диссертации опубликованы 12 научных работ, четыре из которых – без соавторов и получено одно свидетельство на изобретение.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, основных выводов, списка использованной литературы, включающего 113 наименований. Общий объем диссертации составляет 149 страниц, включая 47 рисунков и 27 таблиц.

Г Л А В А 1. АНАЛИЗ ДАННЫХ ПО ОЦЕНКЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТЕКСТИЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ

1.1. Анализ сорбционных свойств текстильных изделий

Тепловое состояние организма человека существенно зависит от способности материалов одежды поглощать и отдавать парообразную и жидкую влагу. Значимость этих свойств особенно велика при эксплуатации одежды в условиях, вызывающих интенсивное выделение влаги поверхностью тела человека (интенсивная физическая нагрузка, повышенная и высокая температура окружающей среды и т.д.).

Для материалов одежды наибольшее значение имеют такие свойства, как поглощение парообразной влаги (влагопоглощение), жидкой влаги (капиллярность и водопоглощение), влагоотдача, а для материалов, используемых в верхнем слое демисезонной и зимней одежды, кроме того, водоупорность. При взаимодействии водяного пара с материалами одежды (неощутимая перспирация) наиболее вероятны физико-химические формы связи, обусловленные действием у поверхности адсорбента силового поля, притягивающего молекулы воды [1-3]. Способность материалов поглощать парообразную влагу определяется их химическим составом и строением, степенью упорядоченности структуры. Поглощение влаги синтетическими полимерами, не содержащими функциональных групп, осуществляется в основном действием дисперсионных сил [2-3].

Одна из основных задач теории сорбции заключается в создании методов расчета уравнений изотерм сорбции, содержащих характеристики удельной поверхности и объема пор твердых тел или величины, с ними связанные. Однако эта задача крайне сложна, так как любая трактуемая математическая теория должна основываться на весьма упрощенных моделях, например, таких, как система цилиндрических пор одинакового диаметра или совершенно плоская поверхность. Эти модели очень далеки от действительного состояния текстильных материалов, строение которых усложнено наличием разнородных пор (сквозных, межволоконных,

наклонных межнитевых, поверхностных и т. д.) [2-4]. Используемые в практике исследования материалов одежды уравнения изотерм являются главным образом эмпирическими.

Набухание является следствием диффузии влаги в волокно и зависит от соотношения в нем аморфной и кристаллической фаз, наличия полярных групп. При набухании волокон в значительной мере проявляется их анизотропия - сильное увеличение поперечных размеров при незначительном увеличении длины.

Анизотропия волокон может оказывать влияние на проницаемость и другие теплофизические свойства текстильных изделий [3-4].

Количество тепла, выделяемого волокном в процессе поглощения влаги, зависит от сорбционной способности волокон. Наибольшей теплотой сорбции характеризуются материалы из шерсти (примерно в 3 раза выше, чем у нейлона). Интенсивность выделения тепла снижается с увеличением объема поглощенной влаги.

Наиболее интенсивное выделение тепла происходит при поглощении влаги до 5%. Поглощение влаги, близкой к насыщению (25-40%), не влияет на теплоту сорбции [1-4].

В работах [5, 6, 7, 8] отмечается термостабилизирующее действие гидрофильных волокон. Тепло, выделяемое при взаимодействии этих волокон с влагой, в течение некоторого времени компенсирует снижение температуры окружающего воздуха, благодаря чему организм человека не так резко ощущает охлаждение.

Следует отметить, что более высокая защитная функция материалов из гидрофильных волокон по сравнению с гидрофобными связана в первую очередь с их способностью снижать влажность кожи и воздуха под одеждой, уменьшая эффект охлаждения, вызванный уменьшением температуры окружающей среды. Наглядное представление о сорбционных свойствах материалов дают изотермы сорбции — десорбции (рис. 1.1.), положение критических (сингулярных) точек на которых свидетельствует об изменении форм связи влаги с материалом [9-12].

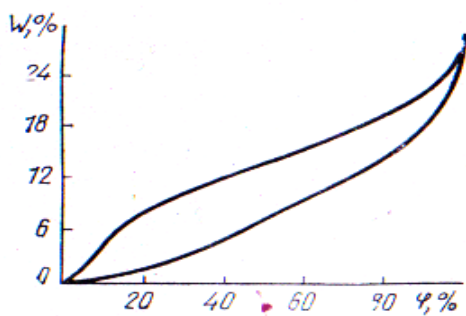


Рис. 1.1. Изотермы сорбции – десорбции текстильных материалов

Эти точки наблюдаются при влажности воздуха, близкой к 10, 60 и 80-90%, и означают границы перехода между видами адсорбционно- и капиллярно-связанной влаги. При влажности воздуха примерно до 10% наблюдается мономолекулярная адсорбция, от 10 до 60% - полимолекулярная адсорбция и свыше 60% - капиллярная конденсация.

Явление гистерезиса объясняют наличием абсорбированной влаги в межмолекулярном пространстве и различным характером движения влаги в расширяющихся и суживающихся капиллярах [13-14]. Более гигроскопичные материалы имеют большую гистерезисную петлю. Степень гидрофильности материалов Н. И. Брусско характеризует гигроскопическим коэффициентом [9-10, 15]:

$$K = S/S_{ш}$$

где S и $S_{ш}$ - площади гистерезисной петли изотерм сорбции – десорбции соответственно исследуемого материала и шерстяной ткани, m^2 .

Кроме скорости выведения материалами одежды диффузионной влаги, на самочувствие человека влияет их способность выводить капельножидкую влагу. Количество пота, выделяемого организмом человека при повышенной и высокой температуре окружающей среды и интенсивной физической деятельности человека, может быть весьма различным [9-11, 16].

Показатели водопоглощения имеют наибольшее значение для материалов одежды, близко расположенных к поверхности тела человека. Увеличение водопоглощения этих материалов при условии достаточно высокой их влагоотдачи положительно влияет на микроклимат под одеждой и самочувствие человека. При низкой влагоотдаче материал становится мокрым на ощупь, прилипает к поверхности тела человека, вызывая отрицательные ощущения. Оптимальным является такое количество влаги в материале, при котором человек еще не ощущает ее влияния

(начальный период появления свободной влаги на поверхности волокна). Эталонами влагоемкости могут служить материалы из шерсти, которые даже при значительном поглощении влаги остаются сухими на ощупь и не вызывают неприятных ощущений [11, 17-19].

Водопоглощение имеет значение и для верхних слоев зимней и демисезонной одежды с точки зрения защиты тела человека от воздействия атмосферной влаги. Снижение водопоглощения этих материалов обеспечивается путем повышения их водоупорности в результате обработки гидрофобными смолами, придания материалам гладкой поверхности и др [2, 5, 12, 17].

Степень влияния капиллярности материалов одежды на их способность удалять влагу с поверхности тела человека достаточно четко не выявлена. По-видимому, наибольшее значение это свойство имеет для бельевых материалов, непосредственно соприкасающихся с поверхностью тела человека. Роль последующих слоев пакета материалов одежды в удалении влаги в результате ее капиллярного всасывания не столь велика [3,5].

Скорость влагоотдачи существенно влияет на тепловое состояние человека, так как связана с интенсивностью охлаждения поверхности испарения. Высокая скорость влагоотдачи может привести к чрезмерному охлаждению поверхности тела человека и простудным заболеваниям.

Проникание воздуха через материалы одежды связано с процессом его диффузии, конвекцией под влиянием тепла, выделяемого телом человека, возникновением разности давлений под влиянием движения наружного воздуха, движений человека и изменения объемов частей одежды. Решающее значение в прохождении воздуха через материалы имеет возникновение перепада давлений [5,7].

Воздухопроницаемость характеризуется скоростью движения воздуха через материал, которая зависит от особенностей самого материала и внешних движущих сил, отмеченных выше. Изменение воздухопроницаемости как под влиянием самого материала, так и под влиянием внешних условий носит нелинейный характер.

Значения показателей воздухопроницаемости материалов одного и того же назначения варьируют в очень широких пределах [20-24]. Вследствие этого решающее значение в проектировании и создании рациональной одежды имеет выявление оптимальных значений воздухопроницаемости материалов с учетом интенсивности физической деятельности человека, особенностей конструкции одежды, параметров внешней среды.

Для создания комфортных условий воздухопроницаемость материалов должна быть тем выше, чем меньше вентиляционные возможности одежды, меньше способность материала выводить влагу путем сорбции-десорбции, больше суммарное тепловое сопротивление, меньше скорость ветра, выше влажность и температура атмосферного воздуха, больше набухание волокон [5, 10, 12, 25].

С изменением конструктивных особенностей одежды (наличия пояса, клапанов), с повышением степени открытости, прилегания изменяются вентиляционные возможности одежды и требования к материалам для нее.

Применение материалов с высокими сорбционными свойствами, в частности с достаточной величиной и скоростью поглощения и отдачи как парообразной влаги, так и влаги в капельно-жидком состоянии, благодаря высокой капиллярности позволяет снижать их воздухопроницаемость.

Большой запас суммарного теплового сопротивления материалов повышает их воздухопроницаемость без заметного падения теплового сопротивления, особенно для одежды, эксплуатируемой в условиях повышенной скорости ветра. Малая величина суммарного теплового сопротивления требует ограничивать верхний предел воздухопроницаемости, что достигается как снижением воздухопроницаемости в наружном слое пакета материалов, так и использованием специальных ветрозащитных прокладок [2, 26-28].

В условиях повышенной влажности и температуры атмосферного воздуха затрудняется газовлажностный обмен, что требует повышения уровня воздухопроницаемости материалов. Необходимо учитывать изменение

воздухопроницаемости от сорбции материалом влаги. Кроме отмеченного, оптимальное значение воздухопроницаемости материала зависит от его функциональной роли в пакете одежды. Проникание пара через материалы обусловлено процессами его диффузии вследствие разности парциальных давлений пара в атмосферной среде и пододежном пространстве, сорбции — десорбции, а также конвективными и другими процессами, вызывающими движение воздуха у поверхности материала. Соотношение количества пара, проходящего через материалы различными путями в условиях относительно спокойного воздуха, зависит от их пористости и сорбционной способности. В материалах с относительно высокой пористостью процессы диффузии преобладают над процессами сорбции — десорбции, что связано с более высоким сопротивлением волокон водяным парам по сравнению с сопротивлением воздуха. При этом волокнистый состав материалов практически не влияет на показатели паропроницаемости. В материалах с низкой пористостью процессы сорбции — десорбции преобладают над процессами диффузии; волокнистый состав материалов в значительной степени определяет скорость проникания пара [29].

Показатель паропроницаемости, используемый в большинстве случаев для оценки материалов одежды, не в полной мере отражает их способность выводить влагу из среды с повышенной влажностью, так как характеризует только количество пропускаемой влаги.

В работе [30] показано, что наибольшая часть материалов для одежды имеет очень близкие значения паропроницаемости независимо от их волокнистого состава. Отмеченное свидетельствует о том, что показатель паропроницаемости характеризует преимущественно диффузионную проводимость материалов. Вместе с тем тепловые ощущения человека в одежде из гидрофильных и гидрофобных волокон в определенных условиях существенно различаются и свидетельствуют о более низкой способности последних выводить влагу из пододежного пространства.

Как указывалось выше, показатель паропроницаемости не отражает способности материалов одежды поглощать парообразную влагу в процессе влагопередачи.

Количество этой влаги, зависящее от волокнистого состава материалов, существенно влияет на тепловые ощущения человека.

Отмеченное вызывает необходимость применения для оценки влагопроводных свойств материалов одежды показателя, учитывающего общее количество парообразной влаги, которое материал способен удалить из пододежного пространства.

Наряду с паропроницаемостью следует оценивать суммарную влагопроводность $V_{\text{сум}}$, материалов одежды, которая может быть рассчитана по формуле [1, 5, 31]

$$V_{\text{сум}} = \frac{V_{\text{ср}}}{S\tau}, \frac{\text{кг}}{\text{м}^2 \cdot \text{с}} \quad \text{или} \quad V_{\text{сум}} = \frac{V_{\text{ср}}}{S\tau\Delta p}, \text{ с/м}$$

где $V_{\text{ср}}$ - общее количество влаги, вступившей во взаимодействие с образцом (поглощенной и пропущенной), кг; τ - продолжительность взаимодействия, с; Δp - разность парциальных давлений пара с внутренней и наружной сторон образца, Па; S - площадь образца, м^2 .

Показатель суммарной влагопроводности материалов позволяет более объективно оценивать их влагопроводные свойства.

Из представленных на рис. 1.2 данных следует, что общее количество влаги, удаляемой материалами из среды с повышенной влажностью в течение 3600 с испытаний, как и показатели влагопроводности после установления сорбционного динамического равновесия, определяются степенью гидрофильности волокон, составляющих материалы.

Характер кривых, характеризующих процесс влагопередачи, свидетельствует о преобладании процессов сорбции над десорбцией и диффузией влаги в начальный период ее взаимодействия с материалами и усилением десорбции в последующие периоды испытаний до наступления сорбционного динамического равновесия [2, 5, 17, 32].

Показатели влагопроводности материалов различного назначения и волокнистого состава составляют $(15,5 \dots 37,5) \cdot 10^{-6} \text{ кг/м}^2 \cdot \text{с}$

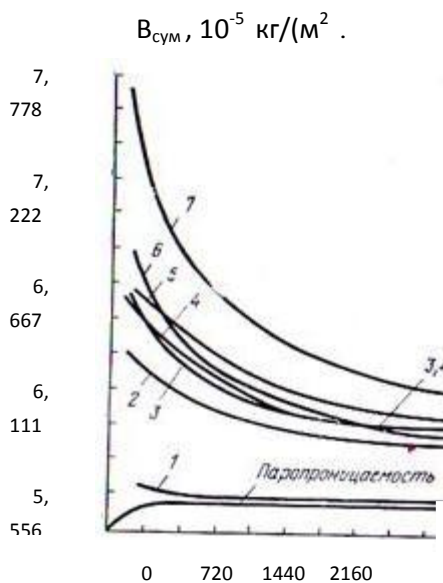


Рис. 1.2. Динамика влагопроводности: 1- трикотажного полотна комбинированного переплетения из полиакрилонитрильной пряжи; 2 - полушретьяной платьевой ткани (50% лавсана); 3 - подкладочной ткани из ацетатных комплексных нитей; 4 - хлопчатобумажного миткаля; 5 - подкладочной ткани из вискозных комплексных нитей; 6 -бельевого трикотажного полотна из ацетатных комплексных нитей; 7 - бельевого трикотажного полотна из вискозных

комплексных нитей.

В табл. 1.1. приводится влагопроводность некоторых материалов, широко используемых в производстве бытовой одежды. Паропроницаемость испытанных однослойных материалов толщиной $(0,36 \dots 0,84) \cdot 10^{-3}$ м составляет $1,556 \cdot 10^{-5} \pm 0,167$ кг/(м²·с), тканей для пальто полутора- и двухслойных переплетений – $(0,944 \dots 1,028) \cdot 10^{-5}$ кг/(м²·с). Различия между показателями влагопроводности и паропроницаемости характеризуют то количество влаги, которое материал способен удалить из среды с повышенной влажностью благодаря более высокому его влагопоглощению. Именно эти различия во многом определяют характер тепловых ощущений человека, особенно при повышенном потоотделении поверхностью тела [5, 17]. Следует отметить, что влагопроводность и паропроницаемость гидрофобных материалов в отличие от гидрофильных существенно не различаются, что свидетельствует о преобладании в них процессов диффузии над сорбцией и десорбцией. Оценка показателей влагопроницаемости материалов одежды в условиях относительно спокойного воздуха является недостаточной при проектировании и оценке физико-гигиенических свойств материалов одежды. Конвективные процессы, воздействие ветра, имеющие место в реальных условиях эксплуатации одежды, оказывают существенное влияние на скорость влагопередачи.

Таблица 1.1.

Характеристика влагопроводности текстильных материалов различного назначения

Вид и сырьевой состав	Назначение	Толщина, Т _м , мм	Влагопроводность, В _{сум} , $\frac{\text{г}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч}}$
Трикотажное полотно из вискозных комплексных нитей	Бельевое	0,38 ... 0,5	90 ... 100
Трикотажное полотно из ацетатных комплексных нитей	>>	0,4 ... 0,54	78 ... 80
Трикотажное полотно из капроновых комплексных нитей	>>	0,38...0,44	62 ... 66
Ткань чистошерстяная	Платьевая	0,54...0,84	90 ... 95
Ткань полушерстяная с содержанием синтетического волокна 20-70%	>>	0,58 ... 0,82	60...75
Ткань из полиэфирных комплексных нитей	>>	0,8	55
Ситец	Платьевой	0,34	76
Ткань из вискозных комплексных нитей	Подкладочная	0,36 ... 0,54	84 ... 88
Ткань из ацетатных комплексных нитей	>>	0,37 ... 0,45	76 ... 80
Ткань из капроновых комплексных нитей	>>	0,38	60
Драп чистошерстяной			
Драп полушерстяной (50% лавсана)	Пальтовый	1,8 ... 2,4	98 ... 102
Трикотажное полотно из	>>	2,08	93
текстурированных нитей лавсана	Пальтовое	1,98	56

При скорости ветра, превышающей 3 м/с, возрастает роль строения и снижается роль волокнистого состава материалов одежды в процессе влагопередачи [3, 23, 32]. При сильном ветре волокнистый состав практически не влияет на способность материалов одежды выводить влагу из пододежного пространства, количество водяных паров, удаляемых путем сорбции- десорбции, ничтожно мало по сравнению с их количеством, выводимым через поры потоками воздуха. В связи с отмеченным оптимизация пористости материалов одежды в соответствии с условиями ее

эксплуатации имеет большое значение, так как интенсивное выведение влаги воздушными потоками сопровождается значительным охлаждением поверхности тела человека.

Большое значение имеет вопрос о корреляции паро- и воздухопроницаемости материалов одежды. В связи с тем что материалы с относительно высокой пористостью не различаются показателями паропропицаемости (в отличие от воздухопроницаемости), корреляционная связь между рассматриваемыми свойствами в таких материалах отсутствует.

А. Бартон и О. Эдхолм объясняют это различной физической сущностью процессов: воздухопроницаемость представляет собой процесс фильтрации, паропроницаемость - процесс диффузии; в физических законах, которым подчиняются эти процессы, отражен различный характер влияния размеров пор, через которые проходит пар или воздух: чем больше отверстие, тем выше константа диффузии и ниже константа фильтрации [5, 33].

И. А. Димитриевой выявлена корреляционная связь воздухо- и паропро- ницаемости в условиях относительно спокойного воздуха для тканей, имеющих высокие значения коэффициента поверхностного заполнения (не ниже 90...95%) и соответственно низкие значения воздухопроницаемости. Л. Л. Медведева, Л. Б. Казанцева, А. Л. Мирингоф отмечают линейную корреляционную связь между этими свойствами материалов одежды при значениях их воздухопроницаемости, не превышающих $0,1 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ [5, 17].

Результаты исследований Л. Л. Медведевой и наши данные свидетельствуют о тесной корреляционной связи между показателями рассматриваемых свойств в условиях направленного движения воздуха [3, 12].

Следует отметить ограниченные возможности материалов одежды в выведении влаги из пододежного пространства при повышенном выделении пота организмом человека в условиях относительно спокойного воздуха. Большое значение здесь имеют дополнительные меры, подбор рациональной конструкции одежды,

вентиляция пододежного пространства, принудительная конвекция воздуха у наружных слоев одежды и т.д.

1.2. Анализ теплозащитных свойств текстильных изделий

Теплозащитные свойства материалов, применяемых для пошива текстильных изделий (одежды), являются наиболее сложными, комплексными свойствами, зависящими от множества физических свойств, в том числе и вышерассмотренных.

Соотношение отдачи тепла излучением, конвекцией, испарением, кондукцией может существенно изменяться в зависимости от климатических условий внешней среды, интенсивности физической деятельности человека, теплозащитных свойств одежды. В комфортных метеорологических условиях, при пониженной и низкой температурах окружающей человека внешней среды наибольший удельный вес в теплоотдаче занимают излучение и конвекция [34, 35].

Теплоотдача излучением (радиацией) имеет место в условиях, когда температура ограждений, окружающих человека, ниже температуры тела. В тех случаях, когда температура тела человека ниже температуры ограждений, организм нагревается под воздействием инфракрасных лучей.

Коэффициент теплоотдачи, Вт/(м² · К), излучением с поверхности тела одетого человека составляет

$$\alpha_{\text{изл}} = Q_{\text{изл}} / S_{\text{изл}} (t_{\text{м}} - t_{\text{ср}}),$$

где $Q_{\text{изл}}$ - количество теплоты, передаваемой излучением в единицу времени, Вт; $S_{\text{изл}}$ – площадь поверхности тела, участвующего в радиационном теплообмене, м²; $t_{\text{м}}$ - температура поверхности наружного материала одежды, °С; $t_{\text{ср}}$ - температура внешней среды (окружающих ограждений), °С .

Ниже в табл. 1.2. приводятся значения коэффициента излучения $\alpha_{\text{изл}}$ при известных значениях $t_{\text{м}}$ и $t_{\text{ср}}$ [1, 20].

Таблица 1.2.

Коэффициент излучения $\alpha_{\text{изл}}$, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$

$t_M,$ °C	$t_{\text{ср}}, \text{°C}$													
	-60	-50	-40	-30	-20	-10	0	+10	+20	+30	+40	+50	+60	+70
0	2,7	2,9	3	3,2	3,4	3,6	4	4,4	4,7	5	5,2	5,5	5,7	6,1
+10	3	3,1	3,3	3,5	3,8	4	4,4	4,6	4,9	5,2	5,5	5,7	6	6,4
+20	3,3	3,4	3,6	3,8	4	4,3	4,6	4,9	5,1	5,4	5,7	6	6,3	6,6
+30	3,5	3,6	3,8	4,1	4,3	4,6	4,9	5,2	5,4	5,7	6	6,3	6,6	6,9
+40	3,8	3,9	4,1	4,3	4,6	4,9	5,2	5,5	5,7	5,9	6,3	6,6	7	7,4

Коэффициент излучения $\alpha_{\text{изл}}$ увеличивается с повышением степени черноты материала ε и его температуры. В работе С. В. Татищева и В. И. Янкелевича величину коэффициента $\alpha_{\text{изл}}$ рекомендуется определять по формуле [36]:

$$\alpha_{\text{изл}} = 0,23\varepsilon \left(t_{\text{ср}} + \frac{273}{100} \right)^3, \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

Степень черноты материала характеризуется отношением его фактического излучения I к излучению абсолютно черного тела I_R : $I_R = 5,68 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}^4}$, $\varepsilon = \frac{I}{I_R}$

Для материалов одежды ε изменяется в пределах 0,2...0,88 и зависит от спектрального состава освещения, степени блеска (повышение блеска снижает ε), цвета и других факторов.

Поглощающая способность материалов в зависимости от их цвета составляет приблизительно: для черного 88, для хаки 57, для белого - 20% общего количества падающего на материал света [24, 34].

Следует подчеркнуть, что тепловое излучение происходит не только с поверхности, но и с внутренних слоев материалов, в связи с чем значение ε может составлять 0,7...1,2 (в среднем 0,9).

Коэффициент излучения $\alpha_{\text{изл}}$ материалов одежды изменяется в пределах 4,8...7,4 Вт/(м²·К) [среднее значение равно 5,7 Вт/(м²·К)] [17, 24].

Теплоотдача конвекцией является следствием разности температур тела и (внешней среды) воздуха, а также следствием движения воздушной среды у поверхности тела.

Коэффициент теплоотдачи конвекцией $\alpha_{\text{конв}}$, Вт/(м²·К) с поверхности тела одетого человека определяется на основе закона Ньютона – Рихмана [37, 38]

$$\alpha_{\text{конв}} = \frac{Q_{\text{конв}}}{(t_{\text{м}} - t_{\text{ср}}) S_{\text{конв}}},$$

где $S_{\text{конв}}$ - площадь материала, с которой осуществляется конвекция, м²; $Q_{\text{конв}}$ - количество теплоты, передаваемой конвекцией в единицу времени, Вт

Этот коэффициент, по данным П. А. Колесникова, составляет 3,6...4,4 Вт/(м²·К) [1, 20, 37-38].

Величиной, обратной коэффициенту теплоотдачи конвекцией $R_{\text{конв}}$ является сопротивление теплообмену с воздушной средой:

$$R_{\text{конв}} = \frac{1}{\alpha_{\text{конв}}} = \frac{(t_{\text{м}} - t_{\text{с}})s_{\text{конв}}}{Q_{\text{конв}}}, \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}$$

Сопротивление теплоотдаче в условиях спокойного воздуха, по данным П. А. Колесникова, составляет 0,102 (м²·К)/Вт [1, 5].

Кроме разности температур на теплоотдачу конвекцией влияет скорость движения воздуха, движений человека в одежде, барометрическое давление. Повышение влажности затрудняет теплоотдачу конвекцией.

В табл. 1.3. показано изменение $\alpha_{\text{конв}}$ в зависимости от скорости ветра $v_{\text{ср}}$ [39].

Таблица 1.3.

Изменение $\alpha_{\text{конв}}$ в зависимости от скорости ветра

$v_{\text{ср}}, \text{ м/с}$	$\alpha_{\text{конв}}, \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$
0 ... 0,5	7
0,6 ... 1,7	10,5
1,8 ... 3,3	16,6
3,4 ... 5,2	24,2
5,3 ... 7,4	32,3
7,5 ... 9,8	40,6
9,9 ... 12,4	49,4
12,5 ... 15,2	51,8
15,3 ... 18,2	68,6
18,3 ... 21,5	78,8
21,6 ... 25,1	90,7
25,2 ... 29	104,7

Роль теплоотдачи конвекцией в условиях ветра возрастает с увеличением толщины воздушных прослоек между поверхностью тела и материалов одежды и между слоями пакета в многослойной одежде [34-35]. -

Теплоотдача испарением в зависимости от теплового состояния человека изменяется следующим образом: при состоянии «холодно» составляет 10...16% общих теплопотерь, «прохладно» - 16...20%, «тепло» - 30...40%, «жарко» - свыше 40%, при комфортном состоянии – 21...27%.

Способность организма человека изменять количество выделяемой влаги в условиях перегревания и при выполнении человеком физической работы различной интенсивности представляет собой один из наиболее мощных механизмов терморегуляции. Коэффициент теплоотдачи испарением $\alpha_{\text{исп}}$, Вт/(м²·кПа), и сопротивление испарению $R_{\text{исп}}$, (м²·кПа)/Вт могут быть определены из уравнений [5, 17]

$$\alpha_{\text{исп}} = Q_{\text{исп}} / [W S_{\text{исп}} (p_{\text{к}} - p_{\text{в}})],$$

где W — коэффициент увлажнения кожи (при нормальных условиях $W=0,2$; в условиях высокой температуры $W=1$); $S_{\text{исп}}$ - площадь материала, с которой осуществляется испарение, м²; $Q_{\text{исп}}$ - количество теплоты, теряемой поверхностью кожи человека вследствие испарения влаги в единицу времени, Вт; $p_{\text{к}}$ – парциальное давление водяного пара при температуре насыщенного воздуха на поверхности кожи человека, кПа; $p_{\text{в}}$ – парциальное давление водяного пара во внешней воздушной среде, кПа [20, 37].

$$R_{\text{исп}} = W S_{\text{исп}} (p_{\text{к}} - p_{\text{в}}) / Q_{\text{исп}}.$$

Практически трудно различать теплоотдачу в воздушную среду конвекцией и испарением, в связи с чем применяют суммарный коэффициент теплоотдачи $\alpha = \alpha_{\text{конв}} + \alpha_{\text{исп}}$ и суммарное (по этим показателям) тепловое сопротивление.

Кроме отмеченного, коэффициент $\alpha_{\text{исп}}$ зависит от скорости движения воздуха ($\alpha_{\text{исп}} = 91,4 + 76,1 \cdot v_{\text{в}}$, Вт/(м²·кПа)), его температуры и влажности. Последнее влияет на

разность парциальных давлений ($p_k - p_{cp}$), так как p_k изменяется сравнительно мало, p_{cp} под влиянием температуры и влажности воздуха изменяется в больших пределах.

Теплопередача кондукцией (теплопроводностью) в комфортных условиях не превышает 3...3,5% общей теплоотдачи, так как коэффициент теплопроводности неподвижной воздушной среде составляет незначительную величину. Коэффициент теплопроводности λ материала (пакета) одежды на основе закона Фурье определяется по формуле [38, 40]

$$\lambda = Q_{\text{конв}} \delta_M / [(t_{\text{вн}} - t_{\text{нар}}) S_{\text{конд}}], \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$$

где $t_{\text{вн}}$ - температура внутренней стенки одежды (материала), °С; $t_{\text{нар}}$ - температура наружной стороны стенки, °С; $S_{\text{конв}}$ - площадь поверхности материала, участвующего в кондукционном теплообмене, м²; $Q_{\text{конв}}$ - количество теплоты, передаваемой кондукцией в единицу времени, Вт; δ_M - толщина материала, м.

Применяется и показатель удельного теплового сопротивления материала (пакета) одежды: [17, 38, 40]

$$\rho = 1/\lambda = [(t_{\text{вн}} - t_{\text{нар}}) S_{\text{конд}}] / Q_{\text{конв}} \delta_M, \text{ (м}\cdot\text{К)/Вт}.$$

Уровень теплопотерь с поверхности тела одетого человека зависит от теплоизоляционных и влагопроводных свойств материалов одежды. В условиях относительно спокойного воздуха теплоизоляционные свойства материалов одежды определяются соотношением в их волокна и воздуха. По данным С. Купера, наилучшими теплоизоляционными свойствами обладают материалы, объемное заполнение волокном которых не превышает 10...20% [2, 5, 41-42]. Увеличение содержания волокна повышает теплопроводность. В то же время воздух характеризуется низким сопротивлением передачи тепла излучением, поэтому для снижения теплопотерь излучением необходимо повышать объемное заполнение материалов волокном.

В работах [21, 43-45] к основным теплофизическим характеристикам материалов одежды отнесены теплопроводность, температуропроводность, объемная и удельная теплоемкость, тепловое сопротивление, теплоусвояемость. Значение

каждой из характеристик в оценках гигиенических свойств материалов во многом определяется соотношением путей теплоотдачи организмом человека и условиями эксплуатации одежды.

Коэффициент теплопроводности связан с температуропроводностью, объемной теплоемкостью и удельной теплоемкостью: [40, 46, 47]

$$\lambda = \alpha \cdot c \cdot \rho = \alpha \cdot C_v, \text{ (м} \cdot \text{К)}/\text{Вт}$$

где α - коэффициент температуропроводности материала (пакета) одежды, $\text{м}^2/\text{с}$; ρ - объемная масса (плотность) материала, $\text{кг}/\text{м}^3$; c - удельная теплоемкость материала (пакета), $\text{Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$; $C_v = c \cdot \rho$ - объемная теплоемкость материала (пакета), $\text{Дж}/(\text{м}^3 \cdot \text{К})$.

Коэффициент теплопроводности материала зависит от теплопроводности вещества материала и воздуха в его порах, теплопроводность воздуха значительно ниже, чем вещества материалов. По данным П. А. Колесникова, величины, от которых зависит теплопроводность материалов для одежды, изменяются в следующих пределах: [16, 20-21, 48]:

Температуропроводность, $\text{м}^2/\text{с}$	$1,99 \cdot 10^3 \dots 16,33 \cdot 10^3$
Удельная теплоемкость, $\text{Дж}/\text{кг} \cdot \text{К}$	$1,09 \cdot 10^3 \dots 2,18 \cdot 10^3$
Объемная теплоемкость, $\text{Дж}/(\text{м}^3 \cdot \text{К})$	$231,6 \cdot 10^3 \dots 1103,4 \cdot 10^3$

Для оценки теплоизоляционных свойств материалов и пакетов одежды П. А. Колесников предложил использовать не коэффициент теплопроводности, а обратную величину - тепловое сопротивление R_m . При условии плотного прилегания материалов коэффициент λ не зависит от структуры и отделки материалов и составляет $0,0495 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$. Тепловое сопротивление представляет собой функцию толщины материалов: [2, 20-21, 49-51]

$$R_m = \delta_m / (0,0495 + 0,001).$$

Из рассмотренного следует, что теплоизоляционные свойства материалов с учетом их теплопроводности тем выше, чем больше их толщина, ниже

температуропроводность, объемная масса. Особую роль играет теплоемкость материалов, ее увеличение положительно сказывается на теплозащитности материалов. Так, например, шерстяные материалы обладают низкими температуропроводностью и объемной массой и высокой объемной теплоемкостью, тепловое сопротивление их высокое, теплопроводность низкая.

В одежде каждый слой материалов и их пакет можно рассматривать как систему кожа человека – воздух – материал – воздух - ... – материал - воздух. В указанной системе происходит сложный процесс тепловлагопередачи всеми указанными выше путями, причем следует различать передачу через воздух, на границе воздух – материал - через материал, и отдачу тепла и влаги на границе материал - воздух. В таких сложных условиях наиболее целесообразно рассматривать тепловлагопередачу как суммарный процесс и характеризовать его суммарным тепловым сопротивлением $R_{\text{сум}}$.

П. А. Колесников предлагает определять $R_{\text{сум}}$ из уравнения [21, 52-55]

$$R_{\text{сум}} = R_{\text{м}} + R_{\text{т}} + R_{\text{в}} = \delta_{\text{м}} / \lambda_{\text{м}} + 1/\alpha + \delta_{\text{в}} / \lambda_{\text{в}}, \text{ (м}^2 \cdot \text{К)}/\text{Вт}$$

где $\lambda_{\text{м}}$ - коэффициент теплопроводности материала одежды, Вт/(м·К); α – коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности одежды к внешней среде, Вт/(м²·К); $\lambda_{\text{в}}$ - коэффициент теплопроводности воздушных прослоек в одежде, Вт/(м·К).

П. А. Колесников исследовал теплопередачу материалов главным образом без учета влагообмена. В этих условиях при постоянном значении $R_{\text{сум}}$ тепловой поток линейно зависит от перепада температур, а при постоянном перепаде температур зависимость теплового потока q от $R_{\text{сум}}$ носит характер гиперболы (рис. 1.3.) [20, 37, 56].

К. Умбах отмечает, что сложный характер теплопередачи через текстильные материалы обусловлен их неоднородностью в поперечном сечении [57, 58, 59, 60].

При изучении тепловлагопередачи текстильный материал следует рассматривать как систему, состоящую из основного слоя (включает основную массу волокон) и двух переходных (состоят из выступающих концов волокон, количество которых снижается к наружным участкам материала).

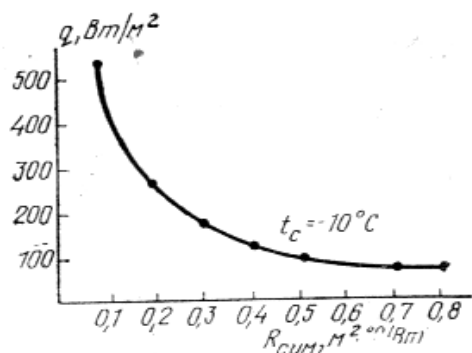


Рис.1.3. Влияние суммарного теплового сопротивления материалов на тепловой поток

Тепловое сопротивление материала в основном его слое во много раз меньше, чем в переходных, а падение температуры в переходных слоях значительно больше, чем в основном. Сопротивление влагонепроницаемости, наоборот, в переходных слоях меньше, что вызывает повышенную конденсацию водяных паров в этих слоях, особенно в

материалах с высоким сопротивлением влагонепроницаемости и относительно низким тепловым сопротивлением. Исходя из отмеченного, суммарное тепловое сопротивление материалов одежды в условиях тепловлагопередачи предложено рассчитывать с учетом величины сопротивления основного и переходных слоев.

1.3. Влияние влажности и воздухопроницаемости материалов на их теплозащитные свойства

П. А. Колесников отмечает, что движение наружного воздуха не только разрушает слой воздуха, прилегающий к поверхности одежды, но и влияет на микроклимат под одеждой, при этом усиливается теплоотдача конвекцией и испарением.

Например, при $t_{\text{ср}}=20^{\circ}\text{C}$ и $v_{\text{ср}}=5$ м/с теплотери по сравнению с условиями спокойного воздуха возрастают на 20%, а при $v_{\text{ср}}=10$ м/с - на 50% (рис. 1.4) [2, 16, 21, 38, 50].

Для расчетов суммарного теплового сопротивления материалов в условиях ветра используется уравнение [1, 54, 56]:

$$R_{\text{сум}} = (1,74 - 0,027\delta_m) p_{\text{ср}}^{cB_p R_o / cB_p R_o} + (0,044 + 0,027\delta_m), \quad (\text{м}^2 \cdot \text{К}) / \text{Вт}$$

где c - массовая теплоемкость воздуха, Дж/кг·К; R_o - сопротивление теплопередаче при отсутствии инфильтрации воздуха, $(\text{м}^2 \cdot \text{К}) / \text{Вт}$; B_p - воздухопроницаемость материала одежды, которая определяется при перепаде давления, соответствующем определенной скорости ветра, $\text{дм}^3 / (\text{м}^2 \cdot \text{с})$.

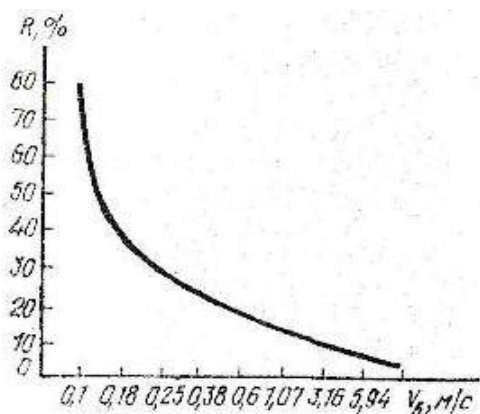


Рис. 1.4. Влияние скорости воздуха на тепловое сопротивление (за 100% принято тепловое сопротивление в условиях спокойного воздуха)

где c - массовая теплоемкость воздуха, Дж/кг·К; R_o - сопротивление теплопередаче при отсутствии инфильтрации воздуха, $(\text{м}^2 \cdot \text{К}) / \text{Вт}$; B_p - воздухопроницаемость материала одежды, которая определяется при перепаде давления, соответствующем определенной скорости ветра, $\text{дм}^3 / (\text{м}^2 \cdot \text{с})$.

В. И. Кузьмин и С. А. Ключин предложили определять общий тепловой поток q , Вт/м², с учетом воздухопроницаемости материала, скорости ветра и количества испаряемой влаги: [5, 55, 61]

$$q = K(t_k - t_{\text{ср}}) + B_{\text{вп}} (t_k - t_{\text{ср}}) + W_{\text{вл}} i,$$

где B — коэффициент, учитывающий воздухопроницаемость при обдувании ветром и теплоемкость воздуха, Дж/(м³·К); $W_{\text{вл}}$ — количество испаряемой влаги за единицу времени на 1 м², кг/(с·м²); i — энтальпия пара, Дж/кг; t_k - температура поверхности кожи человека, К.

При расчете коэффициента теплоотдачи испарением $K = (q - W_{\text{вл}} i) / (30 - t_{\text{ср}})$, Вт/(м²·К); при ветре значение $t_{\text{ср}}$ следует снижать на 5...8°С.

С.В. Татищев и В. И. Янкелевич отмечают, что при ветре теплоизоляционные свойства воздухопроницаемой одежды на 25...40% ниже, чем герметичной в

аналогичных условиях [36]. Коэффициент теплоотдачи конвекцией, Вт/(м²·К); при $v_{cp} = 3...20$ м/с рекомендуют рассчитывать по формуле [5, 17, 62]

$$\alpha_{конв} = 7 + 3,14v_{cp}$$

Степень увеличения потока тепла через воздухопроницаемый материал q по сравнению с тепловым потоком через герметичный материал q_0 предлагают определять как функцию

$$\frac{q}{q_0} = f(Z, \Delta); Z = 0,015v_{cp}^2 B R_m$$

где Z - критерий, определяющий отношение теплового сопротивления проницаемого материала к тепловому сопротивлению того же материала без фильтрации (в условиях герметичности); Δ — толщина воздушной прослойки, м; R_m - тепловое сопротивление материала, (м²·К)/Вт; B_p - воздухопроницаемость материала, м³/(м²·с).

Критерий Z учитывает совместное влияние на степень снижения теплового сопротивления материалов в условиях ветра воздухопроницаемости материала, его толщины и скорости ветра:

$$Z = C_p \rho u (R + R_{п.м}),$$

где C_p - теплоемкость воздуха, Дж/(кг·К); ρ — плотность воздуха, кг/м³; u - скорость фильтрации воздуха, м/с; $R_{п.м}$ - тепловое сопротивление теплоотдаче с поверхности материала, (м²·К)/Вт.

По данным В. И. Янкелевича, при значениях Z от 0 до 0,5 тепловое сопротивление материалов в условиях фильтрации воздуха не зависит от их воздухопроницаемости и скорости фильтрации. При $Z > 5$ теплоизоляционные свойства материала (пакета материалов) не зависят от его толщины и определяются его воздухопроницаемостью. При значениях Z от 0,5 до 5 тепловое сопротивление материалов следует рассчитывать из уравнений, приведенных в работе В. И. Янкелевича [5, 17, 20].

Связь теплового сопротивления тканей и воздухопроницаемости изучалась Б. Н. Стрельцовым, Э. М. Усейновым и А. А. Харебовым [58-60, 63-64]. Установлено, что

суммарное эквивалентное тепловое сопротивление R_{ψ} можно определить из формулы

$$R_{\psi} = (1 - e^{-\psi}) / \rho V_p c,$$

где ψ безразмерный критерий; $\psi = \rho V_p c \delta_m / \lambda_{\psi}$; ρ - объемная масса воздуха, кг/м³; c - удельная теплоемкость воздуха; $c = 1,01 \cdot 10^3$ Дж/(кг·К); λ_{ψ} - эквивалентный коэффициент теплопроводности [5, 17, 44, 64].

$$\lambda_{\text{возд}} = 0,023 \text{ Вт/(м·К)}.$$

Используя безразмерный критерий ψ , авторы предлагают разграничить сферы влияния на тепловое сопротивление теплопроводности и воздухопроницаемости. Если $\psi = 0,05$, доминирует теплопроводность, при $0,05 < \psi < 3$ степень влияния теплопроводности и воздухопроницаемости соизмерима (большинство материалов), если $\psi > 3$, доминирует воздухопроницаемость.

Влияние скорости ветра на теплоизоляционные свойства одежды в реальных условиях ее эксплуатации подробно рассмотрено Т. П. Лиопо и Г. В. Циценко [45-48, 65].

В условиях ветрового воздействия наиболее существенным фактором, влияющим на теплоизоляционные свойства пакетов материалов, является воздухопроницаемость. Влияние толщины пакета материалов на уровень теплоизоляции одежды при этом ослабевает, и различия в суммарном тепловом сопротивлении пакетов материалов различной толщины уменьшаются. На рис. 1.5 показана зависимость теплового сопротивления пакетов материалов одежды различной воздухопроницаемости от скорости ветра при испытании одежды (куртка и брюки) на человеке в условиях микроклиматической камеры [17, 21]. При скорости ветра 2 м/с увеличение воздухопроницаемости пакета материалов на каждые 10 дм³/(м²·с) приводит к уменьшению ее теплового сопротивления на 1,25%, а при ветре 4, 6, 8, 10 м/с - соответственно на 3,25; 4,5; 5,5; 5,7%.

Вместе с тем существенное влияние толщины пакета материалов на суммарное тепловое сопротивление пакетов сохраняется и при усилении ветра. Так, увеличение толщины пакета материалов от 23 до $36 \cdot 10^{-3}$ м вызывает увеличение термического сопротивления на 10% независимо от скорости ветра. При постоянной скорости ветра

снижение термического сопротивления пакетов определяется их воздухопроницаемостью [41-42].

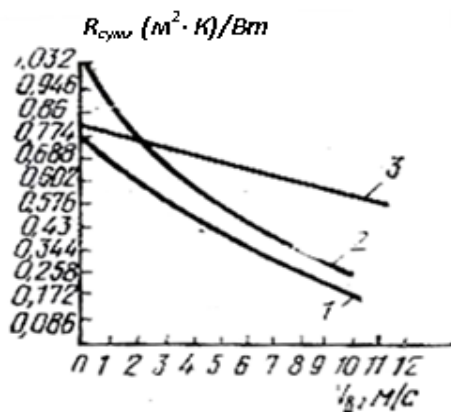


Рис. 1.5. Зависимость суммарного теплового сопротивления, $\text{дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$, пакета материалов одежды различной воздухопроницаемости от скорости ветра (обдуваемый участок - плечо) 1- $V_p=24$; 2- $V_p=40$; 3- $V_p=7$

Расчет степени снижения термического сопротивления одежды $C, \%$, замкнутой конструкции в зависимости от скорости ветра $v_{ср}, \text{м/с}$ и воздухопроницаемости пакета материалов $V_p, \text{дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ может быть осуществлен по следующей формуле: [5, 41]

$$C = (0,07V_p + 2)v_{ср} + 5.$$

В работе [5, 66] с использованием метод электроанalogии показано, что при наличии фильтрационного движения наружного воздуха через верхний слой пакета тепло удаляется с поверхности нагревающего тела наружу через воздушную незамкнутую прослойку, при наличии в пакете такой прослойки теплоизоляционные свойства верхнего слоя не оказывают существенного влияния на теплоизоляционные свойства пакета.

Большое значение имеет при этом воздухопроницаемость верхнего слоя, величина которой должна соответствовать скорости ветра, а также толщина незамкнутой прослойки, увеличение которой усиливает теплообмен в пакете. Снижение внутренней конвекции в пакете материалов может быть обеспечено как путем подбора материала верхнего слоя с малой воздухопроницаемостью, так и путем создания ячеистых прослоек, уменьшающих конвекцию.

Коэффициент теплопроводности, составляющий для воздушно-сухих пакетов различной толщины $0,045 \dots 0,049 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$, при увлажнении тканей резко возрастает и для пакетов материалов, содержащих 220% воды от массы воздушно-сухого пакета, достигает $0,145 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$. Изменение других теплофизических характеристик пакетов материалов при его увлажнении показано на рис.1.6. [21].

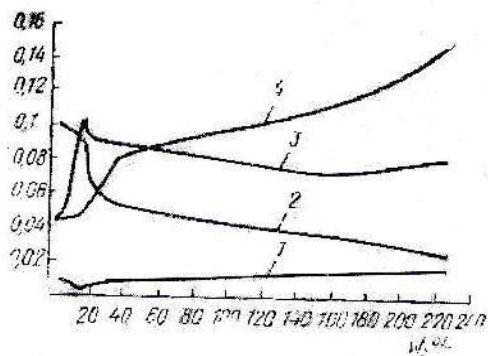


Рис. 1.6. Зависимость теплофизических характеристик пакета материалов одежды типа « пальто» от влажности: 1-объемная теплоемкость 10^{-8} Дж/(м³·К) ; 2- тепловое сопротивление, (м³·К)/Вт; 3-коэффициент температуропроводности, 10^6 м²/с; 4- коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К)

По данным Н. П. Замотаева, наиболее сложный характер носит изменение теплофизических характеристик пакетов материалов при их увлажнении от 0 до 40%, что связано с изменением форм связи влаги с материалами и толщины отдельных слоев пакета в результате набухания, объемной контракции и выделения теплоты сорбции [5]. В условиях одновременного тепло- и влагопереноса на теплофизические свойства пакета существенно влияет их волокнистый состав.

В работе [15] отмечено, что автомойки характеризуются большой обводненностью рабочих мест, наличием в моющих средствах поверхностно – активных веществ, а в сточной воде масел и солей, наличием сквозняков при периодическом открывании ворот, а также значительным градиентом температуры по высоте помещения. Спроектирована спецодежда использующаяся в условиях повышенной влажности с учетом влияния факторов окружающей среды и условий работы на предприятии автосервиса.

Автор работы [67] отмечает, что сильный ветер усиливает влияние холода, вызывая дискомфорт и снижение работоспособности человека. На сегодняшний день вопрос о деформации пакета одежды с объемными несвязными утеплителями под воздействием воздушного напора и, как результата, изменении его теплового сопротивления практически не изучен. Отсутствие точных сведений о динамике и характеристиках деформации пакета одежды не позволяет точно прогнозировать снижение его теплозащитных свойств.

В тот же работе разработана конструкция пакета специальной одежды с объемными несвязными утеплителями с повышенной устойчивостью к действию ветровой нагрузки.

Изменение влажности и скорости движения воздуха существенно влияет на теплоизоляционные свойства материалов. Увлажнение материалов может происходить под влиянием атмосферной влаги, при усилении потения, а также вследствие конденсации влаги в слоях пакет при изменении температуры, влажности воздуха и низких значениях влагопроводности.

Теплоизоляция материалов одежды при их увлажнении значительно понижается. Так, по данным С. Купера, тепловая изоляция утепляющих материалов даже при влагосодержании 15% уменьшается наполовину. Кроме того, объемная контракция, набухание волокон, выделение тепла, сопровождающие процессы сорбции, могут существенно влиять на теплоизоляционные свойства материалов [5, 17].

Вода имеет большую теплоемкость, она поглощает в 11 раз больше тепла, чем воздух, теплопроводность воды в 28, а льда - в 60 раз больше теплопроводности воздуха, увлажненная кожа отдает тепла в 4 раза больше, чем сухая.

Коэффициент теплопроводности λ_w влажного материала составляет: [5, 17]

$$\lambda_w = \lambda(1 + W\sigma_w/100),$$

где W - объемная влажность; σ_w — прирост коэффициента теплопроводности на 1% объемной влажности.

Теплоизоляционные свойства материалов существенно зависят от форм связи влаги с ними. Наименьшим суммарным тепловым сопротивлением характеризуются материалы, содержащие капельно-жидкую влагу, особенно при отрицательных температурах окружающей среды [5, 56].

При исследовании процессов теплопереноса в шерстяных костюмных тканях Н. И. Саливон, М. Ф. Казанский и др. [15] выявили, что при уменьшении влажности тканей от полного намокания до гигроскопического влагосодержания (около 30...32%) плавно снижается коэффициент теплопроводности (рис. 1.7).

При снижении влажности от 30 до 8% наблюдается резкое снижение коэффициента λ , что объясняется нарушением тепловых контактов между волокнами, связанным с удалением влаги пленочного состояния. При удалении адсорбированной влаги коэффициент λ ткани почти не изменяется.

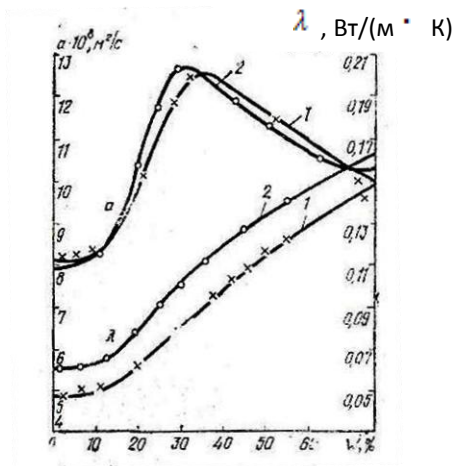


Рис. 1.7. Зависимость коэффициентов теплопроводности λ и температуропроводности α двух шерстяных тканей 1, 2 от их влагосодержания

Коэффициент температуропроводности α при удалении влаги из микропор размером больше 0,1 мкм возрастает и достигает максимального значения при влагосодержании, близком к максимальному гигроскопическому состоянию, при удалении из образцов влаги капиллярной конденсации коэффициент α резко снижается, а при удалении адсорбированной влаги (влажность образцов 8...10%) практически не изменяется.

Аналогичные данные получены Н. П. Замотаевым при исследовании теплопроводности, температуропроводности, объемной теплоемкости увлажненных шерстяных тканей [10]. В связи с тем что увлажнение материалов существенно влияет на их теплоизоляционные свойства, представляет интерес характер движения атмосферной влаги через материалы в различных условиях окружающей среды. Г. Е. Литвиненко и Л. И. Третьякова установили, что интенсивность движения влаги через многослойную одежду возрастает в большей степени при отрицательных температурах окружающей среды, чем при положительных, что в свою очередь сказывается на интенсивности снижения теплоизоляционных свойств [5, 18, 51].

Намокание материалов влияет на теплозащитные свойства одежды. Наряду с повышением теплопроводности материалов их намокание приводит к дополнительному снижению температуры на поверхности вследствие испарения влаги с нее. Весьма отрицательно влияет на теплоизоляционные свойства материалов конденсация влаги во внутренних слоях одежды.

Ю. Ф. Войнов и К. В. Князева в качестве одной из таких мер для одежды, эксплуатируемой в производственных условиях, предлагают периодическую фильтрацию в пододежное пространство наружного воздуха соответствующей

влажности и температуры [5, 19]. Немаловажное значение в снижении конденсации влаги имеет и оптимизация физико-гигиенических свойств, строения и состава материалов в соответствии с реальными условиями эксплуатации одежды. Большое влияние на теплозащитные свойства материалов одежды оказывает их воздухопроницаемость, степень влияния которой возрастает с увеличением скорости движения внешней среды.

П.А. Колесников отмечает, что движения внешней среды не только разрушает слой воздуха, прилегающий к поверхности одежды, но и влияет на микроклимат под одеждой, при этом усиливается теплоотдача конвекцией и испарением [37-38].

На рис. 1.8. показан характер снижения теплового сопротивления r_m , воздухопроницаемым материалов в условиях фильтрации в зависимости от их воздухопроницаемости и скорости ветра. Из представленных на рис. 1.9. данных следует, что с увеличением скорости фильтрации снижается роль воздушных прослоек как дополнительного теплоизолятора одежды и при некоторых значениях u , близких к 0,278 м/с, их тепловое сопротивление практически не будет влиять на теплоизоляционные свойства одежды.

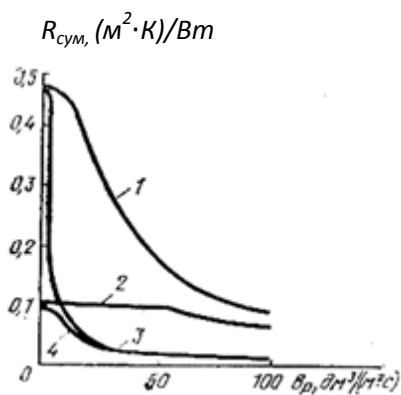


Рис. 1.8. Влияние воздухопроницаемости на тепловое сопротивление: 1-пакет материалов ($v_{cp} = 4\text{ м/с}$, $R = 0,43(\text{м}^2 \cdot \text{К})/\text{Вт}$); 2 - ткани ($v_{cp} = 4\text{ м/с}$, $R = 0,1(\text{м}^2 \cdot \text{К})/\text{Вт}$); 3- пакет материалов ($v_{cp} = 15\text{ м/с}$, $R = 0,5(\text{м}^2 \cdot \text{К})/\text{Вт}$); 4- ткани ($v_{cp} = 15\text{ м/с}$, $R = 0,1(\text{м}^2 \cdot \text{К})/\text{Вт}$)

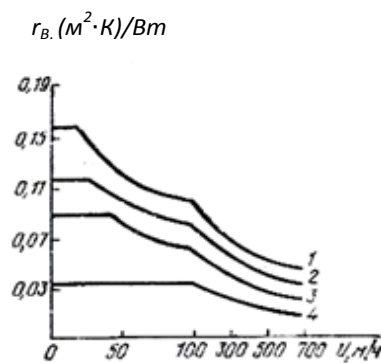


Рис.1. 9. Зависимость теплового сопротивления воздушных прослоек r_B от их толщины и скорости фильтрации: 1- $\delta = 10 \cdot 10^{-3}\text{ м}$; 2- $\delta = 5 \cdot 10^{-3}\text{ м}$; 3 - $\delta = 3 \cdot 10^{-3}\text{ м}$ 4 - $\delta = 1 \cdot 10^{-3}\text{ м}$

ВЫВОДЫ

1. Анализ современных данных по гигиеническим свойствам материалов одежды и его пакетов показал, что их сорбционные свойства достаточно хорошо изучены различными авторами, в частности, имеется достаточное количество данных по поглощающим свойствам материалов одежды и его пакетов.

2. Анализ современных данных по теплозащитным свойствам отдельных материалов одежды показал, что они также хорошо изучены при различных температурах и влажностях внешней среды. Однако теплозащитные свойства одежды в основном изучены с учетом влияния одного фактора внешней среды. В настоящее время отсутствуют исследования теплозащитных свойств одежды под воздействием нескольких факторов внешней среды. Отсутствуют данные по взаимовлиянию фактором внешней среды друг на друга и на теплозащитные свойства одежды.

3. Существующие установки для оценки теплозащитных свойств одежды занимают большую площадь, имеют высокую себестоимость, а оценка теплозащитных свойств занимает большое время. Полностью отсутствуют малогабаритные установки, которые быстро могут оценить теплозащитных свойств одежды с учетом воздействия факторов внешней среды.

Исходя из вышесказанного, разработка установок для быстрой оценки теплозащитных свойств одежды под воздействием различных факторов внешней среды представляет актуальную задачу.

Г Л А В А 2 . М Е Т О Д И К А П Р О В Е Д Е Н И Я Э К С П Е Р И М Е Н Т А Л Ъ Н Ы Х И С С Л Е Д О В А Н И Й

2.1. Организация и порядок проведения экспериментальных исследований

Объектом исследования диссертационной работы являются текстильные изделия – преимущественно верхняя одежда переходного и холодного периодов года, а предметом исследования - ее теплофизические (теплозащитные) свойства под воздействием следующих факторов: температуры, скорости движения и влажности внешней среды, а также расположения тела человека в одежде относительно среды.

В качестве верхней одежды переходного периода года выбран трехслойный пуховик, надеваемый на нательное белье и свитер. В качестве верхней одежды холодного периода года выбрана двухслойная дубленка, надеваемая на нательное белье, свитер и куртку.

Для определения теплозащитных свойств одежды спроектирована и изготовлена экспериментальная установка, которая защищена патентом № 2745 А. Выбор определяющих факторов внешней среды, воздействующих на теплозащитные свойства одежды производится по методу экспертного опроса [68,69,70].

Теплозащитные свойства одежды под воздействием факторов внешней среды в основном определялись на манекене, заполненном водой, имитирующем тело человека и установленном на диске в экспериментальном участке разработанной установки.

Оценка теплозащитных свойств одежды проводится двумя способами. Первый способ основан на регулярном тепловом режиме охлаждения воды в манекене с надетым на него пакетом исследуемой верхней одежды при различных параметрах внешней среды (скорость движения, температура, влажность, а также расположение тела человека) [17, 40, 71].

В полый манекен заливается вода с температурой 36,6 °С, которая измеряется жидкостным стеклянным палочным термометром типа А (ГОСТ 28498 -90) с диапазоном измерения от 0 до 100 °С при цене деления шкалы 0,1°С, класса точности 1. Манекен с одеждой устанавливается на диске установки и проводится

охлаждение воды в манекене. При помощи секундомера марки С-01 фиксируется время τ_1 , в течение которого температуры воды внутри манекена понижается на 5°C , т.е. составляет $31,6^\circ\text{C}$, что фиксируется термометром типа А, и определяется разность температур $\Delta t_1 = (31,6 - t_{\text{cp}})$, где t_{cp} - температура внешней среды фиксируемая при помощи метеорологического стеклянного термометра типа ТМ-6 (ГОСТ 112-78) с диапазоном измерения температуры от -30 до $+50^\circ\text{C}$ при цене деления шкалы $0,1^\circ\text{C}$, исполнения 1. Аналогично секундомером марки С-01 фиксируется время τ_2 , в течение которого температура воды внутри манекена понижается на 10°C (считая от первоначальной), т.е. составляет $26,6^\circ\text{C}$ и определяется разность температур $\Delta t_2 = (26,6 - t_{\text{cp}})$. Темп охлаждения воды в манекене определяется по формуле [40, 72]:

$$m = \frac{\ln \Delta t_1 - \ln \Delta t_2}{\tau_1 - \tau_2} [\text{с}^{-1}].$$

Суммарное тепловое сопротивление пакета материалов под воздействием факторов внешней среды находится по формуле [72, 73, 74]:

$$R_{\text{сум}} = \frac{1}{m \cdot \Phi} = \frac{S}{m \cdot C_{\text{п}}} \left[\frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}} \right],$$

где $C_{\text{п}} = C_{\text{в}} \cdot m_{\text{в}}$ - полная массовая изобарная теплоемкость воды внутри манекена, Дж/К; $C_{\text{в}} = 4,1868 \cdot 10^3$ Дж/(кг·К) - удельная массовая изобарная теплоемкость воды внутри манекена; $m_{\text{в}} = 19$ кг - масса воды в манекене, $\Phi = \frac{C_{\text{п}}}{S}$ - фактор манекена, Дж/($\text{м}^2 \cdot \text{К}$); $S = 0,385$ м^2 - площадь внутренней поверхности манекена. Фактор манекена в экспериментальных исследованиях составляет $\Phi = 206621,3$ Дж/($\text{м}^2 \cdot \text{К}$).

При втором способе вместо жидкостного стеклянного палочного термометра типа А в манекен с водой опускается автоматический термонагреватель типа Sea Star НХ-906 мощностью 50 Вт, при помощи которого обеспечивается постоянная температура $36,6^\circ\text{C}$ на наружной поверхности манекена (температура на наружной поверхности манекена принимается равной температуре воды в манекене ввиду малости теплового сопротивления стенки манекена). Плотность теплового потока от поверхности манекена (тела человека) в одежде определяется с помощью разработанных измерителей теплового потока, устанавливаемых в шести точках на

наружной поверхности теплозащитной верхней одежды (по два в передней и задней частях туловища манекена и по одному на боковых его поверхностях), через 30 минут, т.е. после наступления стационарного теплового режима. По показаниям измерителей теплового потока определяется средняя плотность теплового потока (средние теплотери) q как их среднеарифметическая величина. Температуры на наружной поверхности одежды также измеряются в ее шести точках с помощью проградуированных термосопротивлений марки М с номинальным сопротивлением 1кОм после наступления стационарного теплового режима. Градуировка термосопротивлений производилась согласно ГОСТ Р 8.625-2006. Средняя температура наружной поверхности одежды $t_{\text{п}}$ определяется как среднеарифметическая шести показаний термосопротивлений.

Суммарное тепловое сопротивление теплозащитной верхней одежды $R_{\text{сум}}$, коэффициент теплопередачи k и коэффициент теплоотдачи с поверхности одежды α рассчитываются по формулам теории теплообмена [74-76]:

$$R_{\text{сум}} = \frac{36,6 - t_{\text{ср}}}{q} \left[\frac{\text{М}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}} \right]$$

$$k = \frac{1}{R_{\text{сум}}} \left[\frac{\text{Вт}}{\text{М}^2 \cdot \text{К}} \right] \text{ и } \alpha = \frac{q}{t_{\text{п}} - t_{\text{ср}}} \left[\frac{\text{Вт}}{\text{М}^2 \cdot \text{К}} \right]$$

где $t_{\text{ср}}$ - температура внешней среды, установленном в экспериментальном участке разработанной установки.

Измерение скорости движения внешней среды производится по его расходу, который определяется по показаниям газового счетчика марки Actarus Gallus 2000. Скорость движения внешней среды рассчитывается по формуле: $v_{\text{ср}} = 4Q/\pi d^2$, м/с; где Q – объемный расход воздушной среды, м³/с; d - диаметр патрубка, через который воздух поступает в газовый счетчик ($d=15 \cdot 10^{-3}$ м). Фиксатор основного регулятора скорости можно установить в трех положениях 0, 45 и 90⁰ и соответствует скоростям движения внешней среды 0, 2,17 и 5,00 м/с. Влажность внешней среды $\varphi_{\text{ср}}$ определяется с помощью психрометра марки ВИТ-2 (ТУ 25 – 11.1645-84),

помещенном в экспериментальном участке разработанной установки и составляет 20%, 32% и 65%.

Толщина образцов материалов пакета теплозащитной одежды переходного и холодного периодов года определяется при помощи толщиномера марки УТС с точностью измерения 0,01 мм [31, 71].

Поверхностная плотность образцов материалов пакета теплозащитной одежды переходного и холодного периодов года определяется по формуле $M = m / (L \cdot B)$, кг/м², где L и B - длина и ширина образцов, определяемая при помощи измерительной линейки, м; m - их масса, определяемая на аналитических весах марки АДВ-200 с точностью 0,001 кг.

Коэффициент теплопроводности образцов материалов пакета теплозащитной одежды λ определяется на приборе ЦНИИ шерсти [72-73]. Тепловое сопротивление отдельных слоев пакета одежды подсчитывается по формуле [74-75]:

$$R_{ст} = \delta / \lambda, (m^2 \cdot K) / Вт$$

где δ - толщина образцов, м; λ - коэффициент теплопроводности образцов, Вт/(м²·К).

Воздухопроницаемость отдельных слоев пакета одежды определяется из справочных таблиц [31, 71, 77].

Путем аппроксимации экспериментальных данных получена связь между влажностью пакета материалов и относительной влажностью внешней среды для переходного и холодного периодов года.

Для исследования суммарного теплового сопротивления теплозащитной верхней одежды $R_{сум}$, коэффициента теплопередачи k и теплоотдачи с поверхности одежды α при различном расположении манекена с одеждой относительно внешней среды, он помещается на вращающемся диске разработанной установки. Диск поворачивается и фиксируется в положениях, соответствующих углам 0,45, 90, 135, 180, 225, 270 и 315°.

2.2. Установка для экспериментальной оценки теплозащитных свойств одежды под влиянием факторов внешней среды

Для оценки теплозащитных свойств одежды под воздействием факторов внешней среды на кафедре “Текстильная инженерия” была спроектирована и создана экспериментальная установка, схема которой с соответствующими разрезами показана на рис. 2.1.

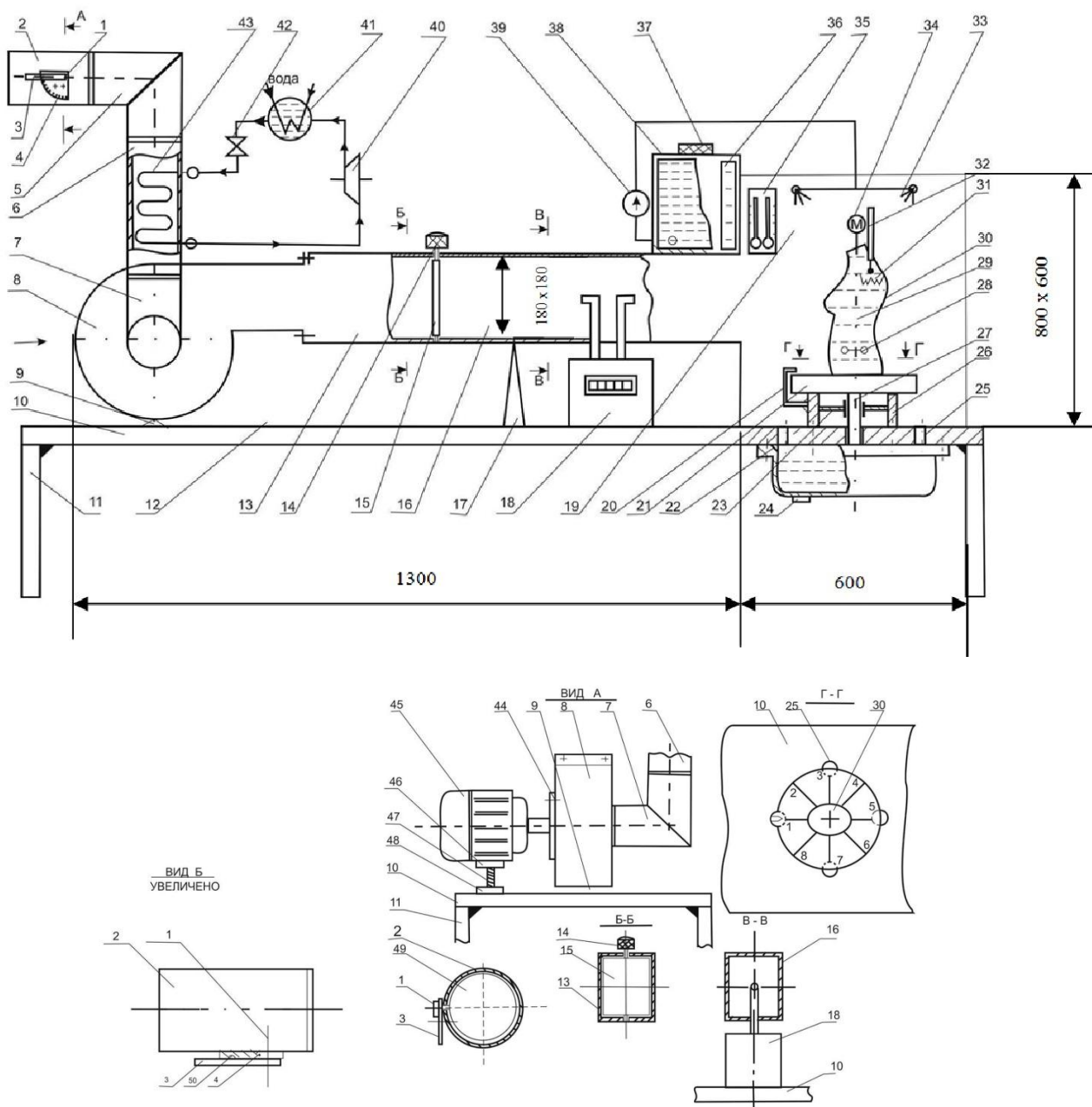


Рис. 2.1. Схема экспериментальной установки для оценки теплозащитных свойств одежды

Установка работает следующим образом. Воздух всасывается центробежным вентилятором (8) марки ЦАГИ и через круглую трубу (2) из стального металлического листа и круглое колено (5) поступает в круглую трубу (6), в которой установлен испаритель (43) холодильной установки. Обтекая змеевик испарителя, воздух охлаждается до требуемой отрицательной температуры за счет низкой температуры хладагента (фреона), циркулирующего внутри змеевика испарителя. Охлаждение хладагента происходит таким образом. Насыщенный пар хладагента всасывается компрессором (40) и подвергается адиабатному сжатию. Из компрессора сжатый пар хладагента поступает в конденсатор (41), где при постоянном давлении вследствие отвода теплоты охлаждающей водой полностью конденсируется при постоянной температуре. Для дальнейшего снижения температуры хладагента он проходит через регулирующий дроссельный вентиль (42), в котором хладагент дросселируется с понижением давления и температуры. После дросселирования образовавшаяся парожидкостная смесь (влажный пар) с низкой температурой поступает в змеевик испарителя. В испарителе при постоянной температуре и постоянном давлении происходит отбор теплоты от подаваемого в установку воздуха, за счет чего хладагент начинает кипеть и превращается в пар. Образовавшийся пар вновь засасывается компрессором и цикл повторяется. После холодильной установки охлажденная воздушная среда через колено (7) поступает во входной патрубок центробежного вентилятора и далее нагнетается экспериментальную установку. Рабочее колесо центробежного вентилятора (8) приводится во вращение от вала электродвигателя (45) марки ELPROM TROYAN мощностью 1,1 кВт соединенного с валом колеса при помощи упруго – втулочной муфты, находящейся под крышкой (44). Экспериментальная установка с помощью упоров (9), (12) и (17) устанавливается на рабочем столе (10) параллельно горизонтальной плоскости стола. Крепление упоров к экспериментальной установке и рабочему столу производится при помощи винтов. Для удобства проведения экспериментов к рабочему столу при помощи сварочных швов подсоединены четыре стойки (11). Соосность валов электродвигателя и рабочего колеса центробежного вентилятора обеспечивается с помощью кинематической пары гайка (46) – винт (47) и гайка (48).

Для регулирования скорости подачи воздушной среды в установку служит регулятор скорости. Регулятор скорости установлен на круглой трубе (2) и состоит из фиксатора (3), вращающегося на оси (1), соединенной с круглой пластиной (49), которая может частично или полностью перекрывать внутреннее сечение трубы (2), регулируя подачу воздушной среды. На фиксаторе закреплен шарик (50), который при вращении фиксатора, входит в углубления, просверленные на шкале (4), фиксируя определенное положение пластины относительно трубы (2). Фиксатор можно установить под углом от 0° до 90° с шагом в 45° , т.е. в трех положениях: 0° , 45° и 90° .

Экспериментальная установка состоит из трех участков: входного (13), успокоительного (16) и экспериментального (19). Для дополнительного регулирования подачи воздуха используется дополнительный регулятор скорости, представляющий собой металлическую пластину (15) прямоугольной формы, к которой приварены две оси, одна из которых входит в корпус входного участка (13) установки, а вторая, пройдя через корпус, соединяется с фиксирующей рукояткой (14). Вращением рукоятки можно установить пластину (15) под углами от 0 до 90° с шагом в 10° , регулируя подачу воздуха.

Необходимость дополнительного регулятора скорости заключается в том, что трубу (6) с установленной в ней холодильной установкой, можно заменить обыкновенной трубой в холодном периоде года, когда наружная температура воздуха колеблется от -15°C до -25°C и необходимость на холодильной установке отсутствует. В этом случае трубу (2) с регулятором скорости также можно заменить на обыкновенную.

Успокоительный участок (16) установки служит для стабилизации воздушного потока, поступающего в экспериментальный участок (19). Скорость воздуха определяется по его расходу, фиксируемого газовым счетчиком (18) марки АСТАРИС, GALLUS 2000.

Увлажнение воздушной среды в экспериментальном участке (19) осуществляется при помощи распыляемой форсунками (33) воды. Вода заливается в бачок (38) и закрывается пластмассовой крышкой (37). При помощи питательного

насоса (39) вода подается к форсункам (33). Расход распыляемой воды определяется по шкале (36), установленной на бачке (38). Влажность воздушной среды измеряется психрометром марки Anseny CX301C (35).

Главным составляющим элементом установки является полный манекен (30), наполненный водой, на который надевается верхняя одежда для оценки теплозащитных свойств под воздействием факторов внешней среды.

В зависимости от способа оценки теплозащитных свойств пакета одежды в манекен наполняется вода с температурой $36,6^{\circ}\text{C}$ и проводится ее охлаждение или же в манекене поддерживается постоянная температура воды $36,6^{\circ}\text{C}$ с помощью термостата (31+32) марки НХ-906, представляющего собой термометр (32) с электрическим нагревателем (31). Если температура воды в манекене понижается от отметки $36,6^{\circ}\text{C}$, то автоматически включается электрический нагреватель, который доводит температуру воды до отметки $36,6^{\circ}\text{C}$. Для равномерного нагрева всей поверхности манекена внутри него от электродвигателя (34) на вале (29) вращается мешалка (28).

Манекен ставится на диск (21), который может вращаться на оси (27) в горизонтальной плоскости и фиксироваться в 8-ми положениях, обеспечивая обдув различных участков теплозащитной одежды увлажненным воздушным потоком. Ось (27) вращается на подшипниках, установленных внутри корпуса (26) на его ребрах (23). На корпусе (26) диска закреплен указатель (20), который служит для отсчета положений диска с помощью шкалы, имеющейся на верхней поверхности диска (21). Для удаления распыленной воды из экспериментального участка к нижней поверхности рабочего стола (10) закрепляется поддон (22), в который через отверстия (25) в столе стекает распыляемая вода. Для удаления воды из поддона служит сливная пробка (24).

На рис. 2.2. показан общий вид экспериментальной установки с различных позиций.



Рис. 2.2. Общий вид экспериментальной установки с различных позиций

2.3. Прибор для определения локальных теплотерь с поверхности тела человека

Одним из показателей, который позволяет косвенно судить о тепловом состоянии человека и количественно оценить теплозащитные свойства одежды, является тепловой поток, обычно измеряемый на 7 или 11 участках тела человека [2].

На рис. 2.3. показаны участки тела, на которых производятся измерения теплового потока.

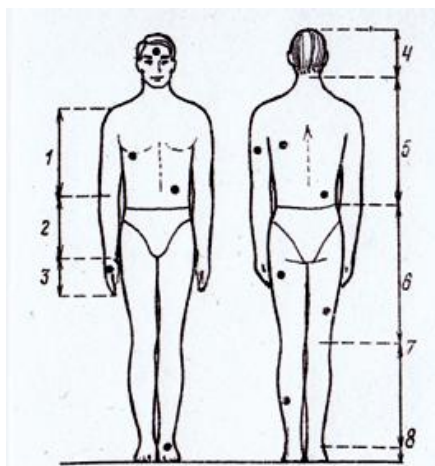


Рис. 2.3. Участки тела, на которых устанавливаются датчики теплового потока: 1 – плечо, 2 – предплечье, 3 – кисть, 4 – голова, 5 – туловище, 6 – бедро, 7 – голень, 8 – стопа.

Тепловой поток определяет величину тепловых потерь с разных участков тела человека, которые характеризуют теплообмен между этими участками и внешней средой и могут осуществляться излучением, конвекцией, кондукцией, испарением и дыханием.

В настоящее время для измерения теплового потока применяются различные тепломерные датчики, которые имеют достаточно высокую стоимость.

Нами разработан прибор для измерения теплового потока. В основе действия прибора лежит основной закон теплопроводности (закон Фурье) [72, 76].

Согласно этому закону количество тепла d^2Q_τ , которое проходит через элемент изотермической поверхности dF за промежуток времени $d\tau$ прямо пропорционально температурному градиенту $\frac{\partial t}{\partial n}$

$$d^2Q_\tau = -\lambda \frac{\partial t}{\partial n} dF \cdot d\tau \quad [\text{Дж}], \quad (2.1)$$

где λ - коэффициент теплопроводности материала рассматриваемой поверхности, n – направление нормали к этой поверхности.

Интегрируя выражение (2.1) для условия пластины толщиной δ в случае установившегося температурного режима, можно получить следующую формулу для определения теплового потока:

$$Q = \frac{\lambda}{\delta} \cdot F \cdot (t_{w_1} - t_{w_2}) \quad [\text{Вт}], \quad (2.2)$$

где F – площадь поверхности пластины, t_{w_1} и t_{w_2} – температуры поверхностей пластины.

Разработанный измеритель теплового потока представляет собой алюминиевый диск диаметром $D = 60$ мм, толщиной $\delta = 1,5$ мм и коэффициентом теплопроводности $\lambda = 205 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$.

На поверхности диска по двум concentрическим окружностям расположены спаи 7 термопар. Диск помещается на тело человека или на слой одежды и выдерживается в течение 30 минут, до достижения установившегося теплового режима.

Термоэлектродвижущие силы каждой из термопар фиксируются с помощью милливольтметра и по градуировочной шкале переводятся в температуры (рис. 2.4.). Определяется средневзвешенная температура t_{w_1} по значениям 7-ми термопар, расположенных на поверхности диска, контактирующей с телом человека или внешним слоем одежды. Определяется также средневзвешенная температура t_{w_2} по значениям 7-ми термопар, расположенных на поверхности диска, контактирующей с внешней средой.

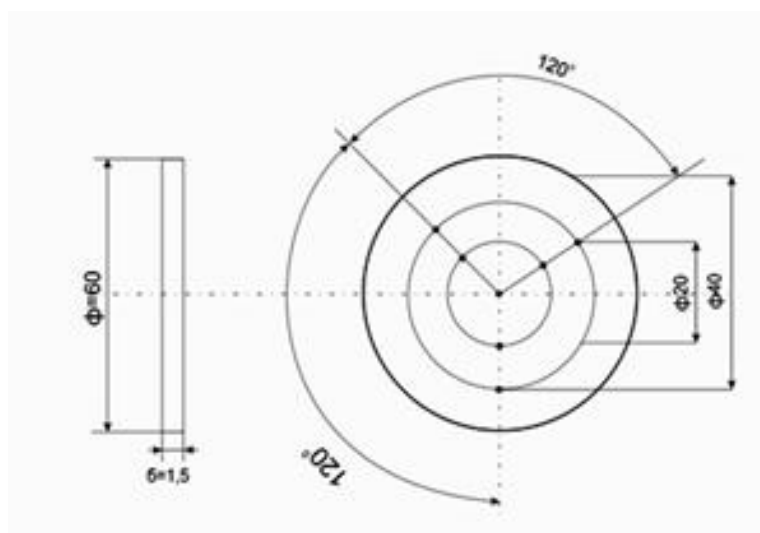


Рис. 2.4. Схема алюминиевого диска и участки расположения пленочных термопар

Площадь поверхности диска составляет:

$$F = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{3.14 \cdot (60 \cdot 10^{-3})^2}{4} = 2.826 \cdot 10^{-3} \quad [\text{м}^2],$$

а тепловое сопротивление диска - $\frac{\lambda}{\delta} = \frac{205}{1.5 \cdot 10^{-3}} = 136.667 \cdot 10^3 \left[\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} \right]$:

Таким образом, для теплового потока будем иметь.

$$Q = 136.667 \cdot 10^3 \cdot 2.826 \cdot 10^{-3} \cdot (t_{w_1} - t_{w_2}) = 386.221 \cdot (t_{w_1} - t_{w_2}) \quad [\text{Вт}]$$

(2.3.)

Для плотности теплового потока будет иметь.

$$q = \frac{Q}{F} = 136.667 \cdot 10^3 (t_{w_1} - t_{w_2}) \quad \left[\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2} \right] \quad (2.4.)$$

Определив разность температур $(t_{w_1} - t_{w_2})$, по выражениям (2.3) и (2.4) рассчитываются теплотери с поверхности тела человека.

Погрешность измерения теплотерь на разработанном приборе составляет (3-5)% и охватывает диапазон тепловых потоков (10 - 9000000) $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$.

Таким образом, разработанный прибор для определения локальных теплотерь с поверхности тела человека обеспечивает достаточно высокую точность получаемых результатов.

2.4. Градуировка терморезисторов для исследования влияния факторов внешней среды на теплозащитные свойства одежды

Для определения температур на поверхностях отдельных слоев пакета зимней одежды с учетом влияния факторов внешней среды были использованы терморезисторы марки М с номинальным электрическим сопротивлением в 1 кОм. С этой целью была проведена градуировка этих терморезисторов при положительных (переходной период года) и отрицательных (холодный период года) температурах внешней среды. Были проградуирована 18 терморезисторов.

При положительных температурах градуировка терморезисторов проводилась следующим образом. Терморезисторы помещались в специальный сосуд с тающим льдом, устанавливались на одинаковом уровне и подключались через цепочный

переключатель к омметру марки АМ-6007. На тот же уровень в сосуд опускался термометр типа А.

Фиксировались показания электрических сопротивлений всех 18-ти терморезисторов при температуре 0°C . Затем сосуд с терморезисторами и термометром устанавливались на электрическую плиту и проводился нагрев воды от 0 до 95°C . На рис. 2.5 показан процесс градуировки терморезисторов при положительных температурах.



Рис. 2.5. Процесс градуировки терморезисторов.

В процессе нагрева воды регистрировались значения электрических сопротивлений всех терморезисторов через 5°C по показаниям термометра. В таблице 2.1. приведены усредненные значения электрических сопротивлений терморезисторов марки М при различных положительных температурах от 0°C до 95°C .

Таблица 2.1.

Значения электрических сопротивлений терморезисторов в интервале температур от 0°C до 95°C.

t, °C	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
R, (м ² ·К)/Вт	1.51	1.35	1.21	1.08	0.96	0.85	0.76	0.68	0.61	0.54
t, °C	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95
R, (м ² ·К)/Вт	0.48	0.43	0.38	0.34	0.30	0.27	0.24	0.22	0.19	0.17

На рис. 2.6. показана зависимость электрического сопротивления терморезисторов от положительных температур и градуировочный график зависимости.

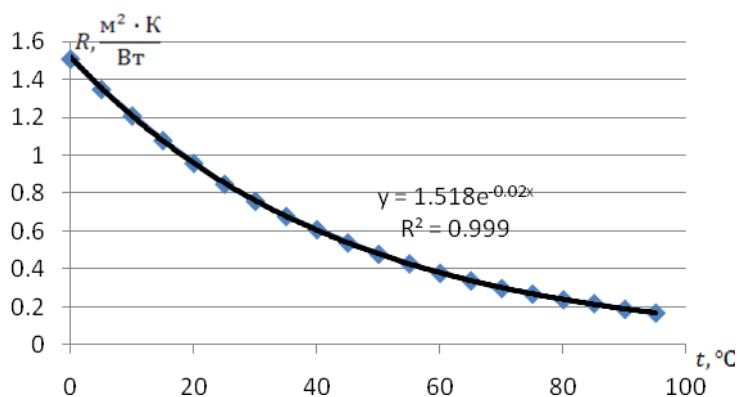


Рис. 2.6. Зависимость электрического сопротивления терморезисторов от положительных температур и градуировочный график их зависимости.

Получена градуировочная зависимость электрического сопротивления терморезисторов от положительных температур в диапазоне от 0 °C (включительно) до 95 °C.

$$R = 1.5182e^{-0.023t}$$

При отрицательных температурах градуировка терморезисторов проводилась в холодильной камере.

Терморезисторы помещались в холодильную камеру, устанавливались на одинаковом уровне и подключались через щеточный переключатель к омметру марки

АМ-6007. На тот же уровень в холодильную камеру помещался термометр типа ТМ-6.

В процессе охлаждения терморезисторов регистрировались значения электрических сопротивлений всех терморезисторов через 5°C по показаниям термометра. В таблице 2.2. приведены усредненные значения электрических сопротивлений терморезисторов марки М при различных отрицательных температурах от -5°C до -30°C.

Таблица 2.2.

Значения электрических сопротивлений терморезисторов
в интервале температур от -5°C до -30°C

t, °C	-5	-10	-15	-20	-25	-30
R, (м ² ·К)/Вт	3.17	3.33	3.50	3.68	3.87	4.06

На рис. 2.7. показана зависимость электрического сопротивления терморезисторов от отрицательных температур и градуировочный график их зависимости.

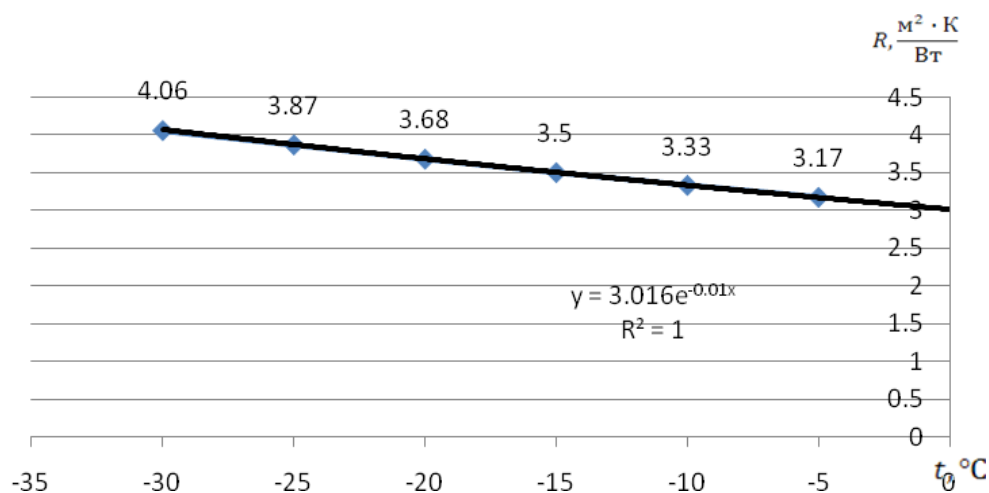


Рис. 2.7. Зависимость электрического сопротивления терморезисторов от отрицательных температур и градуировочный график зависимости.

Получена градуировочная зависимость электрического сопротивления терморезисторов от отрицательных температур в диапазоне от -5°C до -30°C .

$$R = 3,0161e^{-0,0099t}$$

2.5. Выбор определяющих факторов внешней среды, воздействующих на теплозащитные свойства одежды.

Для экспертной оценки используют данные опроса m специалистов-экспертов или потребителей при социологическом обследовании, которые для предварительно выбранных n факторов материалов x_1, x_2, \dots, x_n дают ранговую оценку их значимости, обозначая наиболее важный показатель качества рангом $R = 1$, а наименее значимый – рангом $R = 6$. Результаты записывают в таблицу, которую потом используют для вычисления коэффициента согласия (конкордации), характеризующего согласованность экспертных оценок.

Для ранговой оценки экспертам были предоставлены следующие факторы внешней среды: температура, относительная влажность, атмосферное давление, запыленность, скорость движения, расположение тела человека в одежде (манекена в одежде) относительно внешней среды.

У некоторых экспертов возможны одинаковые оценки значимости нескольких факторов, но для каждого эксперта сумма рангов всех показателей должна оставаться постоянной [78, 79]:

$$\sum_{i=1}^n R_{ij} = (1+2+3+\dots+n) = 0,5n(n+1) \quad (2.5.)$$

Суммы рангов по вертикали $S_i = \sum_{j=1}^n R_{ij}$ для каждого фактора x_i зависят от m и n и могут быть использованы для суждения о незначимости отдельных факторов, но только одной таблицы или при постоянных m и n . Удобнее характеризовать относительную значимость отдельных факторов коэффициентами значимости v_i и v_{i_0} . Вначале определяют коэффициенты значимости каждого из всех n выбранных факторов по формуле (2.5.), которая получена в предложении, что при полном

совпадении ранговых оценок всех экспертов получаем для наименее значимого свойства

$$v_i = 0 \quad \text{а} \quad S_i = S_{\max} = mn$$

В этом случае

$$v_i = \frac{S_{\max} - S_i}{\sum_{i=1}^n (S_{\max} - S_i)} = \frac{mn - S_i}{mn^2 - m \sum_{i=1}^n R_{ij}} \quad (2.6)$$

С учетом равенства (2.5.) формула (2.6) принимает следующий вид:

$$v_i = \frac{mn - S_i}{0.5mn(n-1)} \quad (2.7)$$

При совпадении всех экспертных оценок по формуле (2.7) наиболее значимое свойство имеет $v_{\max} = \frac{2}{n}$, а $\sum v_i = 1$. При одинаковой значимости всех показателей качества $v_i = \frac{1}{n}$.

Далее из всех n показателей качества выделяют n_0 наиболее значимых, для которых $v_i > \frac{1}{n}$, и для них определяют коэффициенты значимости по формуле [78,80-81]

$$v_{i0} = \frac{mn - S_{i0}}{mn n_0 - \sum_{i=1}^n S_{i0}}$$

где n_0 - число оставленных наиболее значимых свойств; S_{i0} - сумма рангов для каждого оставленного свойства.

В таблице 2.3. были оставлены, как наиболее значимые параметры x_1, x_2 и x_5 ($n_0=3$). А именно температура, относительная влажность и скорость движения воздушной среды.

Экспертная (социологическая) оценка коэффициентов значимости должна завершаться определением согласованности высказанных мнений; она может уточняться на основе других теоретических или экспериментальных исследований.

Для определения согласованности экспертных оценок используют исходные данные ранговых оценок экспертов, приведенные в таблице 2.3.

Таблица 2.3.

Ранговая оценка и значимость факторов внешней среды

№	Ранговые оценки показателей качества x_i							$\sum_{i=1}^n R_{ij}$	T_j
	температура	относительная влажность	атмосферное давление	расположение тела человека в одежде	скорость движения	запыленность			
	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6			
1.	3	2	4	5	1	6	21		
2.	3	1	5	4	2	6	21		
3.	3	2	5	6	1	4	21		
4.	3	1	4	5	2	6	21		
5.	1	2	4	6	3	5	21		
6.	2	1	6	5	3	4	21		
7.	3	1	5	6	2	4	21		
8.	3	2	6	5	1	4	21		
S_i	21	12	39	42	15	39	168		
$(S_i - \bar{S})^2$	49	36	121	196	169	121			
$mn - S_i$	27	36	9	6	33	9			
v_i	0,225	0,3	0,075	0,05	0,275	0,075			
v_{i0}	0,281	0,375			0,344				

При наличии одинаковых оценок разных факторов отдельными экспертами таблицу дополняют значениями T_j , вычисляемыми по формуле:

$$T_j = \frac{1}{12} \sum_1^u (t_j^3 - t_j)$$

где u - число рангов с одинаковыми оценками у u -го эксперта, t_j - число оценок с одинаковым рангом у j -го эксперта.

Вначале находят среднюю сумму рангов для всех факторов [82-83]:

$$\bar{S} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_i = 0,5m(n+1)$$

Затем определяют значения $(S_i - \bar{S})$, $(S_i - \bar{S})^2$ и записывают их в таблице.

В нашем случае $\bar{S} = (21+12+\dots+39)/6 = 168/6 = 28$;

$$a \sum_{i=1}^n (S_i - \bar{S})^2 = 49 + 36 + \dots + 121 = 692$$

Коэффициент согласия определяют по формуле [84-86]

$$W = \frac{\sum_{i=1}^n (S_i - \bar{S})^2}{\frac{1}{12} m^2 (n^3 - n) - m \sum_{j=1}^m T_j}$$

В нашем случае $W = 692 / \frac{1}{12} 8^2 (6^3 - 6) = 0,62$

А для оценки его значимости находят критерий χ^2 :

$$\chi^2 = Wm(n-1), \quad \chi^2 = 0,62 \cdot 8 \cdot 5 = 24,8$$

По таблице 2.3. для $S = n-1 = 5$, $\chi_{0,05}^2 = 11,1$. Поскольку $\chi^2 = 24,8 > 11,1 = \chi_{0,05}^2$, имеем существенную (значимую) согласованность ранговых оценок шести экспертов.

2.6. Выбор и обоснование пакетов материалов для теплозащитной одежды

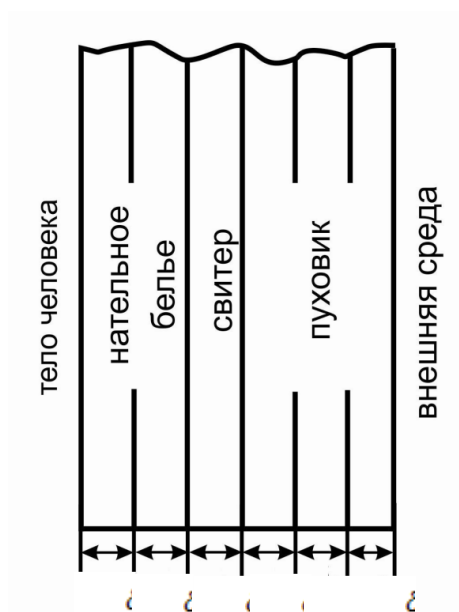
Для экспериментального исследования теплозащитных свойств одежды на разработанной установке с учетом влияния факторов внешней среды были выбраны 2 пакета материалов для верхней одежды переходного и холодного периодов года.

Пакет теплозащитной верхней одежды для переходного периода года представляет собой пуховик, одеваемый на нательное белье и свитер.

Нательное белье состоит из двух слоев: первого, толщиной 3,2 мм, из 80% нейлона(полиамида) и 20% вискозы, второго(майки), толщиной 0,6 мм из 100% хлопка. Свитер, толщиной 0,6 мм, состоит из 90 % вискозы и 10% эластана.

Пуховик состоит из трех слоев: подкладка из ацетата, толщиной 0,5 мм, прокладка из синтепона (вискозы), толщиной 9мм и плащевой ткани (полиамида), толщиной 0,9 мм.

На рис. 2.8. показано расположение слоев теплозащитной верхней одежды для переходного периода года.



1. нейлон (80%) +вискоза (20%) ; $\delta_1 = 3,2$ мм
2. хлопок (100%) ; $\delta_2 = 0,6$ мм
3. вискоза (90%) + эластан (10%); $\delta_3 = 0,6$ мм
4. ацетат ; $\delta_4 = 0,5$ мм
5. синтепон ; $\delta_5 = 9$ мм
6. плащевая ткань ; $\delta_6 = 0,9$ мм

Рис. 2.8. Расположение слоев теплозащитной верхней одежды для переходного периода года

Пакет теплозащитной верхней одежды для холодного периода года представляет собой дубленку, одеваемую на нательное белье, свитер и куртку. Нательное белье состоит из двух слоев: первого, толщиной 3.2мм, из 80% нейлона(полиамида) и 20% вискозы, второго(майки), толщиной 0.6мм из 100% хлопка. Свитер, толщиной 0.6мм ,состоит из 90 % вискозы и 10% эластана.

Куртка, толщиной 0.8мм, состоит из 67% хлопка и 33% спантекса. Дубленка состоит из двух слоев: первого, толщиной 22,3 мм из овчины, и второго, толщиной 2,7 мм из замши.

На рис. 2.9. показано расположение слоев теплозащитной верхней одежды для холодного периода года.

Приведем краткую характеристику пакета материалов теплозащитной верхней одежды для переходного периода года.

Выбор первого слоя нательного белья в виде смеси, состоящей из 80% нейлона и 20% вискозы, обусловлен преимуществами обоих материалов. Нейлон обладает высокой прочностью, износостойкостью, упругостью и малой линейной плотностью

[30, 87-88]. Нйлон устойчив к действию многих химических реагентов, хорошо противостоит биохимическим воздействиям. Полиамидное волокно или нйлон является самым дорогим синтетическим материалом, но при этом и наиболее распространенным, что объясняется его свойствами, заложенными в процессе производства на молекулярном уровне: упругостью, износостойкостью, антистатичностью и высокими противопожарными показателями.

Нйлон хорошо окрашивается, что позволяет создавать широкую цветовую гамму. Нйлон легок, поэтому часто применяется в изготовлении женского нижнего белья, практичен в использовании, легко стирается, быстро сохнет, хорошо сохраняет форму, нужную температуру. Однако нйлон имеет и недостатки, к которым относятся малогигроскопичность и неустойчивость к воздействию света, повышенная деформируемость волокна.

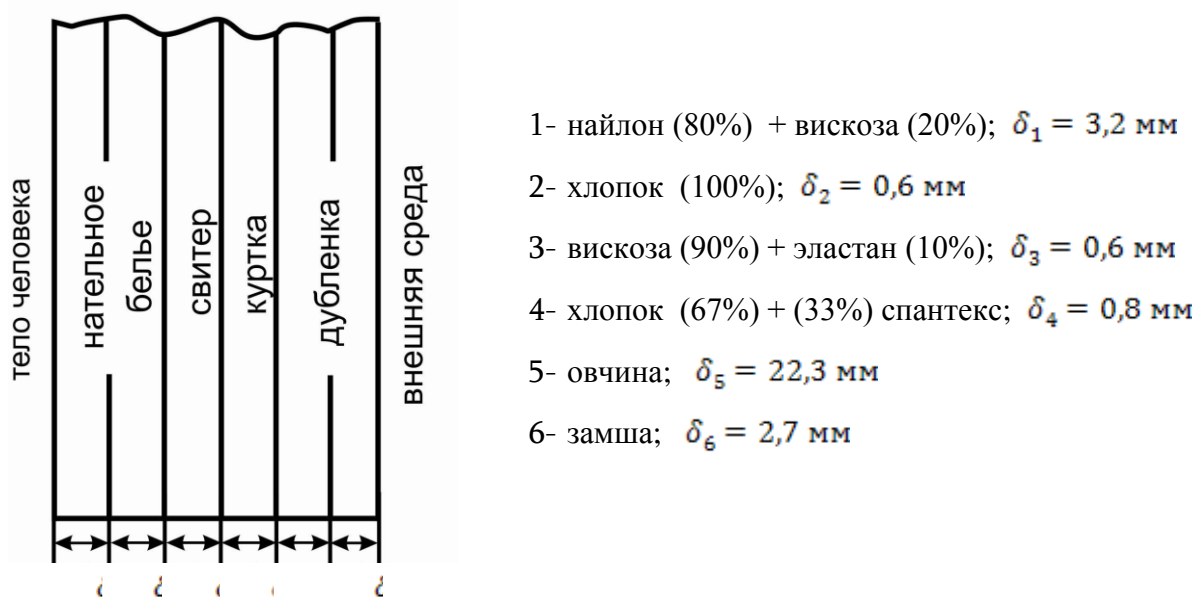


Рис. 2.9. Расположение слоев теплозащитной верхней одежды для холодного периода года

Вискоза – синтетическое волокно, производимое из целлюлозы. Вискоза очень нежный и приятный материал, никогда не накапливающий статического электричества[31, 87, 89]. Одежда из вискозы воздухопроницаема и гигроскопична,

хорошо впитывает и испаряет влагу, обладает высокой прочностью в воздушно – сухом состоянии. У вискозы отличные драпировочные свойства благодаря своему весу. К недостаткам вискозы следует отнести потерю прочности и эластичности при ее намокании (примерно до 70%).

В качестве второго слоя нательного белья выбран хлопок, который вырабатывается из коробочек хлопчатника. Для хлопка характерны относительно высокая прочность, химическая стойкость (он долгое время не разрушается под воздействием воды и света), теплостойкость (130-140°С), средняя гигроскопичность (18-20%). Хлопок достаточно воздухопроницаем, приятен на ощупь, довольно устойчив к истиранию и разрыву, а также к многократным стиркам и глажению, отлично впитывает влагу, хорошо подвергается крашению. К недостаткам хлопка относятся малая доля упругой деформации, вследствие чего одежда из хлопка сильно сминается, а также пожелтение при длительном воздействии света.

Свитер, надеваемый на нательное белье, представляет собой смесь вискозы с эластаном.

Эластан – это синтетическое полиуретановое волокно, которое обладает высокой растяжимостью, прочностью, износостойкостью и повышенной эластичностью [30-31, 90]. Как правило, эластан используется в качестве дополнения к основным тканям для придания одежде определенных свойств. Одежда с небольшим содержанием эластана лучше сидит на фигуре, но после растяжения легко принимает свою первоначальную форму. Эластан довольно устойчив к различного рода внешним воздействиям, не сминается, имеет стойкость к воздействию морской воды и различным загрязнениям. К недостаткам эластана следует отнести его низкую воздухопроницаемость.

Материалом для подкладки пуховика является ацетат, который имеет блестящую поверхность. Ацетатное волокно обладает высокой эластичностью, хорошо держит форму, устойчив к микроорганизмам и приятен на ощупь. Ацетат достаточно легкий

материал, почти не мнется и быстро сохнет. К недостаткам ацетата следует отнести плохое восприятие влаги (около 6%), а также низкую термо- и износостойкость [87-88, 91].

Вторым слоем пуховика является синтепон – нетканое теплофиксированное полотно. Материал имеет высокую прочность, легкость, достаточную мягкость, равномерную толщину, одинаковые показатели усадки по длине и ширине.

После мокрой обработки не изменяет внешнего вида, не расслаивается. Поверхностная плотность синтепока составляет от 100 г/м² до 800 г/м² [31, 90, 92]. Синтепон обладает высокой эластичностью и упругостью, высокими теплоизоляционными свойствами, способностью восстанавливать форму и объем, экологической безопасностью. Наружным слоем пуховика является плащевая ткань с мембранным покрытием, состоящая из полиэстеровых волокон.

Плащевка на мембране плотная, тонкая, прочная и приятная на ощупь ткань [93, 94, 95]. Она обладает хорошими водоупорными и паропроницаемыми свойствами. Эти свойства ткани обусловлены ее микропористой мембранной структурой. Микропоры настолько малы, что могут пропускать только молекулы воды, т. е. водяной пар, а не капли воды. Поэтому плащевка на мембране замечательно отталкивает жидкость (грязь) с поверхности ткани, не впитывая ее выводит наружу образующиеся пары и пот.

Плащевая ткань на мембране препятствует проникновению ветра, т. е. абсолютно непродуваема. Благодаря этому свойству снижаются потери тепла из-под одежды, и частично создается барьер внешнему высокотемпературному воздействию.

Кроме этого, плащевка на мембране служит надежной защитой от проникновения агрессивных химикатов.

Ниже в таблице 2.4. приведены некоторые геометрические и теплофизические характеристики материалов пакета верхней теплозащитной одежды для переходного периода года [93, 96-97].

Таблица 2.4.

Некоторые геометрические и теплофизические характеристики материалов одежды для переходного периода года

№ слоя	Наименования изделия и материала слоя	Толщина, 10^{-3} , м	Поверхностная плотность, $\text{кг}/\text{м}^2$	Коэффициент теплопроводности, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$	Тепловое сопротивление, $(\text{м}^2 \cdot \text{К})/\text{Вт}$	Воздухопроницаемость, $\text{дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$
Нательное белье		1	2	3	4	5
1.	нейлон (80%) + вискоза (20%)	3,2	0,069	0,032	0,110	140
2.	хлопок	0,5	0,095	0,050	0,011	210
Свитер		1	2	3	4	5
3.	вискоза (90%) + эластан (10%)	0,6	0,120	0,052	0,011	250
Пуховик		1	2	3	4	5
4.	ацетат	0,5	0,21	0,049	0,010	240
5.	синтепон	9,0	0,150	0,049	0,184	250
6.	плащевая ткань	0,9	0,157	0,039	0,023	25

Данные таблицы получены на основании проведенных экспериментальных исследований.

Толщина образцов определялась при помощи толщиномера марки УТС точностью измерений до 0,01 мм [30, 71, 87-88]. Поверхностная плотность образцов материалов пакета теплозащитной одежды для переходного периода года определялась путем их взвешивания на аналитических весах АДВ-200 с точностью взвешивания 0,1 мкм [87- 88, 90] и использования формулы:

$$M = \frac{m}{L \cdot B} \left[\frac{\text{кг}}{\text{м}^2} \right]$$

где L и B - длина и ширина образцов, м; m - их масса, кг.

Коэффициент теплопроводности образцов материалов пакета теплозащитной одежды определен на приборе ЦНИИ шерсти [72, 89-90]. Он подсчитывался по формуле:

$$\lambda = \frac{U \cdot I \cdot \delta}{(t_2 - t_1) \cdot S} \left[\frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}} \right]$$

где U - напряжение на клеммах нагревателя, В; I - сила тока, А; δ - толщина образца, м; S - площадь образца, м²; t_1 и t_2 - температуры на поверхностях образца (температуры холодильника и нагревателя), °С.

Тепловое сопротивление отдельных слоев пакета одежды подсчитывалась по формуле:

$$R_{\text{сл}} = \frac{\delta}{\lambda} \left[\frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}} \right]$$

Воздухопроницаемость отдельных слоев пакета одежды определялась из справочных таблиц [89, 90].

Проведем краткую характеристику пакета материалов теплозащитной верхней одежды для холодного периода года.

Материалы нательного белья и свитера одинаковы для теплозащитной одежды переходного и холодного периодов года и их характеристика приведена выше.

Джинсовая куртка, надеваемый на нательное белье и свитер состоит из смеси - 67% хлопка и 33% спандекса. Характеристика хлопка была приведена при описании материалов теплозащитной одежды для переходного периода года.

Спандекс представляет собой легкое синтетическое волокно, способное тянуться. Он представляет собой полимерную цепи из полиуретана. Важнейшая характеристика спандекса – его эластичность. Часто спандекс называют лайкрой или эластаном. Спандекс способен растягиваться до размеров, в пять раз превышающих

первоначальные. После снятия натяжения материал принимает исходную форму и размер. Такие уникальные упругие свойства волокон спандекса является прямым результатом химического состава материала. Спандекс очень легкая, мягкая и гладкая ткань, которое легко окрашивается. Ткань из волокон спандекса не реагирует на потовыделения человека. Совмещение спандекса с хлопком даем возможность повысить гигиенические свойства получаемого материала.

В смеси с хлопком присутствие спандекса обеспечивает большую растяжимость нового материала и его высокую прочность. К недостаткам ацетата следует отнести его способность пропускать ультрафиолетовые лучи, капризность в уходе, низкая термо- и износостойкость.

Дубленка, надеваемый на нательное белье, свитер и джинсовую куртку состоит из двух слоев.

Первый слой дубленки состоит из овчины. Овчина – материал с высокими теплозащитными свойствами. Овчина хорошо впитывает влагу, обеспечивая комфорт как в холодную, так и жаркую погоду. Благодаря правильному натуральному расположению шерсти в овчине, происходит естественная циркуляция воздуха, что предохраняет кожу человека от потливости и пересушивания. Трение шерстяных волокон друг о друга создает электростатическое поле, хорошо влияющее на здоровье и настроение человека.

Второй слой дубленки – замша. Ее изготовливают жировым методом дубления из шкур оленей, лосей, овец и коз. Наличие невысокого ворса придает замше красивый внешний вид.

Жировое дубление обеспечивает мягкость и износостойкость при сохранении гигиенических свойств замши. Замша имеет достаточно высокую прочность (не менее 12,5 МПа) и степень дубления (не более 45%).

Ниже в таблице 2.5. приведены некоторые геометрические и теплофизические характеристики материалов пакета верхней теплозащитной одежды для холодного периода года [93, 96-97].

Некоторые геометрические и теплофизические характеристики материалов одежды для холодного периода года

№ слоя	Наименования изделия и материала слоя	Толщина, 10^{-3} , м	Поверхностная плотность, кг/м ²	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м ² ·К)	Тепловое сопротивление, (м ² ·К)/Вт	Воздухопроницаемость, (дм ³ / (м ² ·с)
Нательное белье		1	2	3	4	5
1.	нейлон (80%) + вискоза (20%)	3,2	0,069	0,032	0,110	140
2.	хлопок	0,5	0,095	0,050	0,011	210
Свитер		1	2	3	4	5
3.	вискоза (90%) + эластан (10%)	0,6	0,120	0,052	0,011	250
Джинсовая куртка		1	2	3	4	5
4.	Хлопок (67%) + спандекс (33%)	0,8	0,110	0,052	0,015	220
Дубленка		1	2	3	4	5
5.	Овчина	22,3	0,400	0,039	0,572	165
6.	замша	2,7	0,300	0,049	0,055	$9 \cdot 10^{-4}$

ВЫВОДЫ

1. Разработана установка для экспериментальной оценки теплозащитных свойств одежды с учетом влияния факторов внешней среды. Оценку теплозащитных свойств одежды предлагается провести двумя методами: методом регулярного теплового режима и методом теплового потока.

2. Разработанный измеритель теплового потока позволяет проводить регистрацию местных тепловпотерь с поверхности тела человека при различных

сочетаниях основных факторов внешней среды с учетом радиационно-конвективного переноса тепла.

3. Разработана методика проведения экспериментальных исследований на предлагаемой установке. Для измерения температур на поверхностях тела манекена и наружной поверхности теплозащитной одежды предлагается использовать тепловые сопротивления марки М с номинальным электрическим сопротивлением 1 кОм.

4. Проведена тарировка термосопротивлений при положительных и отрицательных температурах внешней среды и получены градуировочные формулы, которые имеют вид $R = 1.5182e^{-0.023t}$, для температур от 0°C включительно) до 95 °C и $R = 3,0161e^{-0.0099t}$ для температур от -5°C до -30°C.

5. Проведены выбор и обоснование пакетов материалов для теплозащитной одежды переходного и холодного периодов года исходя из их распространенности в современной одежде для защиты от холода.

6. По результатам экспертного опроса специалистов получены 4 определяющих (основных) фактора внешней среды, оказывающих наибольшее влияние на теплозащитные свойства одежды: температура, влажность, скорость движения внешней среды и расположение манекена в одежде относительно внешней среды.

Г Л А В А 3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ТЕПЛОЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ ОДЕЖДЫ ПО МЕТОДУ РЕГУЛЯРНОГО ТЕПЛОВОГО РЕЖИМА С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ ФАКТОРОВ ВНЕШНЕЙ СРЕДЫ

3.1. Экспериментальная оценка теплозащитных свойств одежды переходного периода года под воздействием факторов внешней среды по методу регулярного режима охлаждения.

Нестационарный процесс охлаждения твердого тела можно разделить на три стадии: начальную, или неупорядоченную стадию, стадию регулярного режима и стадию стационарного режима [40, 73-76].

В период начальной стадии скорость изменения температуры тела зависит от начального распределения температуры. По истечении длительного времени после начала охлаждения тела наступает регулярный режим, при котором скорость изменения температуры уже не зависит от начальных условий и процесс полностью определяется только условиями охлаждения на границе тела и среды, физическими свойствами тела и его геометрической формой и размерами. Третья стадия охлаждения соответствует стационарному режиму, когда температура во всех точках тела равна температуре внешней среды (тепловое равновесие).

В диссертационной работе предлагается определить теплозащитные свойства одежды переходного периода года под воздействием внешних факторов по методу регулярного режима охлаждения. Выбранный пакет верхней одежды для переходного периода года надевается на полый манекен, во внутрь которого заливается вода с температурой 36,6°C. Манекен с одеждой устанавливается на диск установки, при помощи которой обеспечиваются различные положения манекена относительно внешней воздушной среды. Путем установки различных комбинаций определяющих параметров внешней среды обеспечиваются различные климатические условия (скорость, движения, влажность и температура внешней среды).

При оценке теплозащитных свойств одежды при помощи секундомера марки С-01 фиксируется время τ_1 , в течение которого температура воды внутри манекена понижается на 5°C, т.е. составляет 31,6°C и определяется разность температур

$\Delta t_1 = (31,6 - t_{cp})$, где t_{cp} - температура внешней среды. Аналогично фиксируется время τ_2 , в течение которого температура воды внутри манекена понижается на 10°C (считая от первоначальной), т.е. составляет $26,6^\circ\text{C}$ и определяется разность температур $\Delta t_2 = (26,6 - t_{cp})$. Температура воды в манекене определяется при помощи термометра типа А. Принимаем, что внешняя поверхность манекена имеет температуру воды, т.е. пренебрегаем термическим сопротивлением стенки манекена из полистирола ввиду его малости.

Темп охлаждения воды в манекене определяется по следующей формуле [72, 98- 101]

$$m = \frac{\ln \Delta t_1 - \ln \Delta t_2}{\tau_1 - \tau_2} \text{ [с}^{-1}\text{]} \quad (3.1.)$$

Суммарное тепловое сопротивление пакета материалов под воздействием факторов внешней среды определяется по следующей формуле [40, 72, 74, 98, 100]

$$R_{\text{сум}} = \frac{1}{m \cdot \phi} \left[\frac{\text{М}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}} \right] \quad (3.2.)$$

где ϕ – фактор манекена, определяемый по формуле [72, 73]:

$$\phi = \frac{C_n}{S}, \left[\frac{\text{Дж}}{\text{М}^2 \cdot \text{К}} \right] \quad (3.3.)$$

где C_n - полная массовая изобарная теплоемкость воды внутри манекена, S - площадь внутренней поверхности манекена.

$$C_n = C_B \cdot m_B, \left[\frac{\text{Дж}}{\text{К}} \right] \quad (3.4.)$$

где $C_B = 4,1868 \cdot 10^3$ Дж/(кг · К) - удельная массовая изобарная теплоемкость воды, $m_B = 19$ кг - масса воды в манекене.

Площадь внутренней поверхности манекена составляет $S = 0,385$ м². Поэтому фактор манекена составит:

$$\phi = \frac{4,1868 \cdot 10^3 \cdot 19}{0,385} = 206621,3 \left[\frac{\text{Дж}}{\text{М}^2 \cdot \text{К}} \right] \quad (3.5.)$$

Экспериментальному исследованию подвергался пакет теплозащитной одежды для переходного периода года с толщиной $14,8 \cdot 10^{-3}$ м. Температура внешней среды в

экспериментах составляла 10°C, 2°C и -4°C. Относительная влажность внешней среды составляла 20%, 32%, 65%. Влажность пакета материалов теплозащитной одежды переходного периода года определялась при значениях относительной влажности внешней среды $\varphi=20\%$, $\varphi=32\%$ и $\varphi=65\%$ по формуле [40, 76]

$$W = \frac{(M_{\text{вл}} - M_{\text{сух}})}{M_{\text{вл}}} \cdot 100\%$$

Масса сухого пакета материалов определялась путем его полной сушки и взвешивания на аналитических весах марки АДВ-200: $M_{\text{сух}}=0,8$ кг. При определенной относительной влажности внешней среды φ пакет материалов увлажнялся в течение 600 с и снова взвешивался на аналитических весах и определялась его масса после увлажнения.

$$\text{При } \varphi = 20\%, M_{\text{вл}} = 0,888 \text{ кг, } W = \frac{(0,888 - 0,800)}{0,888} \cdot 100 = 10\%$$

$$\text{При } \varphi = 32\%, M_{\text{вл}} = 0,941 \text{ кг, } W = \frac{(0,941 - 0,800)}{0,941} \cdot 100 = 15\%$$

$$\text{При } \varphi = 65\%, M_{\text{вл}} = 1,143 \text{ кг, } W = \frac{(1,143 - 0,800)}{1,143} \cdot 100 = 30\%$$

Путем аппроксимации экспериментальных данных получено уравнение, связывающее влажность пакета материалов с относительной влажностью внешней среды для переходного периода года.

$$W\% = (0,140 + 0,145 \cdot \varphi\%) \cdot (100 - t_{\text{cp}})^{0,25}$$

где t_{cp} - температура внешней среды, °C.

Воздухопроницаемость пакета теплозащитной одежды для переходного периода рассчитывалась по формуле [87-88, 93, 95]:

$$V_{\text{пер}} = \frac{1}{\frac{1}{B_1} + \frac{1}{B_2} + \frac{1}{B_3} + \frac{1}{B_4} + \frac{1}{B_5} + \frac{1}{B_6}} = \frac{1}{\frac{1}{140} + \frac{1}{210} + \frac{1}{250} + \frac{1}{240} + \frac{1}{250} + \frac{1}{25}}$$

Откуда $V_{\text{пер}} = 15,61 \text{ дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$.

Ниже в табл. 3.1-3.3 приведены промежутки времени τ_1 и τ_2 , темп охлаждения m и суммарное тепловое сопротивление теплозащитной верхней одежды для переходного периода года при различных скоростях движения v_{cp} , относительных влажностях φ_{cp} и температурах внешней среды $t_{\text{cp}}=10, 2$ и -4°C .

Таблица 3.1.

Промежутки времени (τ_1, τ_2), темп охлаждения (m) и суммарное тепловое сопротивление ($R_{\text{сум}}$) теплозащитной одежды для переходного периода года при температуре внешней среды 10°C и ее различных скоростях движения ($v_{\text{ср}}$) и относительной влажности ($\varphi_{\text{ср}}$)

Температура внешней среды, $t_{\text{ср}}, ^\circ\text{C}$	Скорость движения $v_{\text{ср}}, \text{м/с}$	Относительная влажность, $\varphi_{\text{ср}}, \%$	Промежутки времени		Темп охлаждения, $\text{м} \cdot 10^5, \text{с}^{-1}$	Суммарное тепловое сопротивление $R_{\text{сум}}, (\text{м}^2 \cdot \text{К})/\text{Вт}$
			$\tau_1, \text{с}$	$\tau_2, \text{с}$		
10°C	0	20	18060	40920	1,152	0,420
		32	15720	35580	1,326	0,365
		65	13500	30600	1,540	0,314
	2,17	20	12600	28560	1,650	0,293
		32	10440	23580	2,004	0,242
		65	8400	19020	2,480	0,195
	5	20	10320	23400	2,013	0,240
		32	8340	18900	2,493	0,194
		65	6540	14820	3,180	0,152

Таблица 3.2.

Промежутки времени (τ_1, τ_2), темп охлаждения (m) и суммарное тепловое сопротивление ($R_{\text{сум}}$) теплозащитной одежды для переходного периода года при температуре внешней среды 2°C и ее различных скоростях движения ($v_{\text{ср}}$) и относительной влажности ($\varphi_{\text{ср}}$)

Температура внешней среды, $t_{\text{ср}}, ^\circ\text{C}$	Скорость движения $v_{\text{ср}}, \text{м/с}$	Относительная влажность, $\varphi_{\text{ср}}, \%$	Промежутки времени		Темп охлаждения, $\text{м} \cdot 10^5, \text{с}^{-1}$	Суммарное тепловое сопротивление $R_{\text{сум}}, (\text{м}^2 \cdot \text{К})/\text{Вт}$
			$\tau_1, \text{с}$	$\tau_2, \text{с}$		
2°C	0	20	13200	28800	1,187	0,408
		32	11340	24840	1,371	0,353
		65	9720	21300	1,598	0,303
	2,17	20	3420	20580	1,659	0,292
		32	7800	16980	2,016	0,240
		65	6240	13680	2,488	0,195
	5	20	7680	16860	2,016	0,240
		32	6240	13620	2,508	0,193
		65	4860	10620	3,214	0,151

Таблица 3.3.

Промежутки времени (τ_1 , τ_2), темп охлаждения (m) и суммарное тепловое сопротивление ($R_{\text{сум}}$) теплозащитной одежды для переходного периода года при температуре внешней среды -4°C и ее различных скоростях движения ($v_{\text{ср}}$) и относительной влажности ($\varphi_{\text{ср}}$)

Температура внешней среды, $t_{\text{ср}}, ^\circ\text{C}$	Скорость движения $v_{\text{ср}}, \text{м/с}$	Относительная влажность $\varphi_{\text{ср}}, \%$	Промежутки времени		Темп охлаждения, $\text{м} \cdot 10^5, \text{с}^{-1}$	Суммарное тепловое сопротивление, $R_{\text{сум}}, (\text{м}^2 \cdot \text{К})/\text{Вт}$
			$\tau_1, \text{с}$	$\tau_2, \text{с}$		
-4°C	0	20	10860	23340	1,212	0,399
		32	9360	20100	1,409	0,343
		65	7980	17160	1,648	0,294
	2,17	20	7920	16980	1,670	0,290
		32	6540	14040	2,017	0,240
		65	5220	11280	2,497	0,194
	5	20	6480	13980	2,017	0,240
		32	5220	11220	2,522	0,192
		65	4080	8760	3,233	0,150

На рис. 3.1 представлена зависимость суммарного теплового сопротивления теплозащитной одежды для переходного периода года от скорости движения внешней среды при ее температуре 10°C .

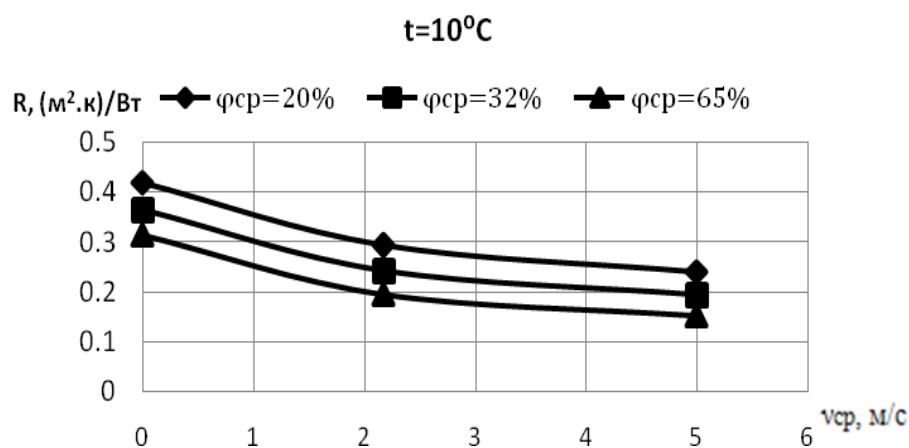


Рис. 3.1. Зависимость суммарного теплового сопротивления теплозащитной одежды для переходного периода года от скорости движения внешней среды при ее температуре 10°C .

На рис. 3.2 представлена зависимость суммарного теплового сопротивления теплозащитной одежды для переходного периода года от относительной влажности внешней среды при ее температуре 10°C .

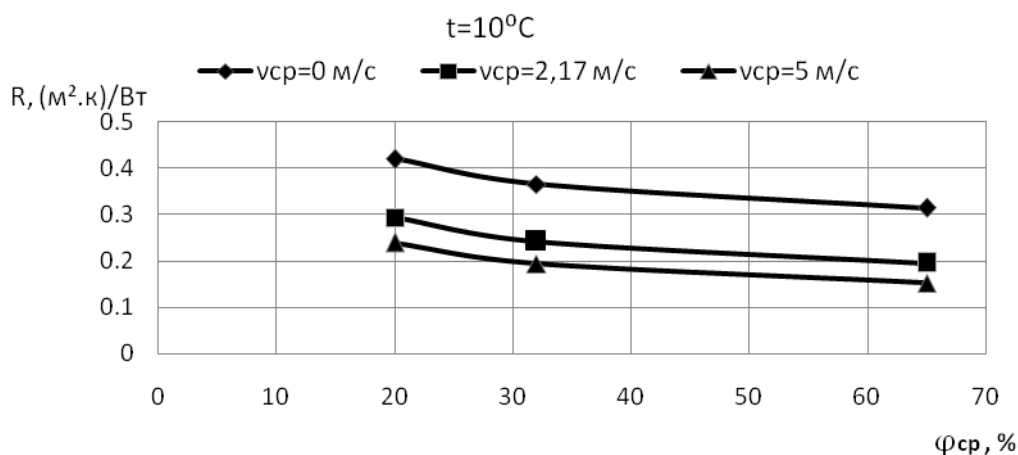


Рис. 3.2. Зависимость суммарного теплового сопротивления теплозащитной одежды для переходного периода года от относительной влажности внешней среды при ее температуре 10°C

Как показывают табличные данные и графики, представленные на рис. 3.1 и 3.2, при температуре внешней среды 10°C увеличение скорости движения внешней среды от 0 до 5,0 м/с приводит к уменьшению суммарного теплового сопротивления теплозащитной одежды при всех значениях относительной влажности внешней среды, причем при относительной влажности среды 20% увеличение скорости ее движения от 0 до 2,17 м/с приводит к уменьшению суммарного теплового сопротивления одежды на 30,2%, при относительной влажности среды 32% - на 33,7% и при относительной влажности среды 65% - на 53,6%.

При температуре внешней среды 10°C и скорости ее движения 0 м/с увеличение относительной влажности среды от 20 до 32% приводит к падению суммарного теплового сопротивления одежды на 13,1%, а увеличение относительной влажности среды от 20 до 65% на 25,2%; при скорости движения 2,17 м/с соответственно на 17,4 и 33,4; при скорости движения внешней среды 5,0 м/с – соответственно на 19,2 и 36,7%.

При температуре внешней среды 10°C увеличение скорости движения внешней среды от 0 до 5,0 м/с приводит к уменьшению суммарного теплового сопротивления

одежды на 42,9% при относительной влажности среды 20%, на 46,8% при относительной влажности среды 32% и на 51,6% при относительной влажности внешней среды 65%.

На рис. 3.3 представлена зависимость суммарного теплового сопротивления теплозащитной одежды для переходного периода года от скорости движения внешней среды при ее температуре 2°C .

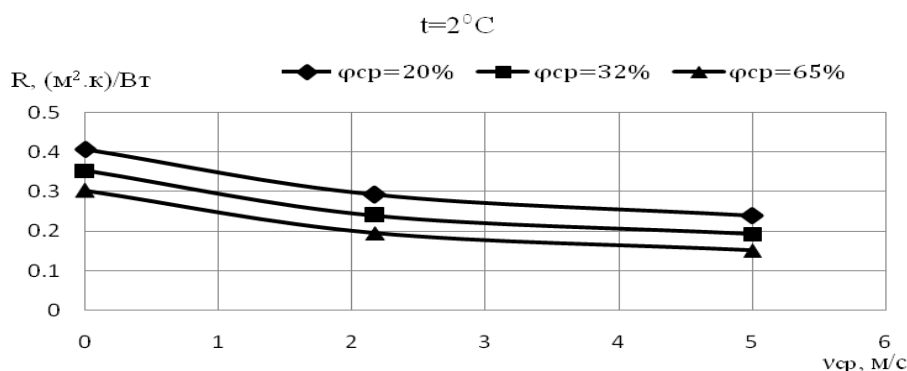


Рис. 3.3. Зависимость суммарного теплового сопротивления теплозащитной одежды для переходного периода года от скорости движения внешней среды при ее температуре 2°C

На рис. 3.4. представлена зависимость суммарного теплового сопротивления теплозащитной одежды для переходного периода года от относительной влажности внешней среды при ее температуре 2°C .

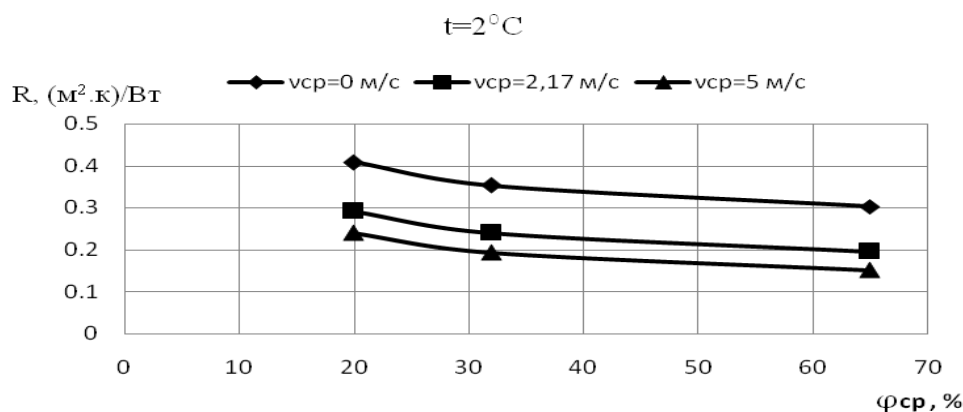


Рис. 3.4. Зависимость суммарного теплового сопротивления теплозащитной одежды для переходного периода года от относительной влажности внешней среды при ее температуре 2°C

Как показывают табличные данные и графики, представленные на рис. 3.3 и 3.4, при температуре внешней среды 2°C увеличение скорости движения внешней среды от 0 до 5,0 м/с приводит к уменьшению суммарного теплового сопротивления теплозащитной одежды при всех значениях относительной влажности внешней среды, причем при относительной влажности среды 20% увеличение скорости ее движения от 0 до 2,17 м/с приводит к уменьшению суммарного теплового сопротивления одежды на 28,4 %, при относительной влажности среды 32% - на 32,0% и при относительной влажности среды 65% - на 35,6%.

При температуре внешней среды 2°C и скорости ее движения 0 м/с увеличение относительной влажности среды от 20 до 32% приводит к падению суммарного теплового сопротивления одежды на 13,5%, а увеличение относительной влажности среды от 20 до 65% на 25,7%; при скорости движения 2,17 м/с соответственно на 17,8 и 33,2; при скорости движения внешней среды 5,0 м/с – соответственно на 19,5 и 37,1%. При температуре внешней среды 2°C увеличение скорости движения внешней среды от 0 до 5,0 м/с приводит к уменьшению суммарного теплового сопротивления одежды на 41,2% при относительной влажности среды 20%, на 45,3% при относительной влажности среды 32% и на 50,2% при относительной влажности внешней среды 65%.

На рис. 3.5 представлена зависимость суммарного теплового сопротивления теплозащитной одежды для переходного периода года от скорости движения внешней среды при ее температуре -4°C .

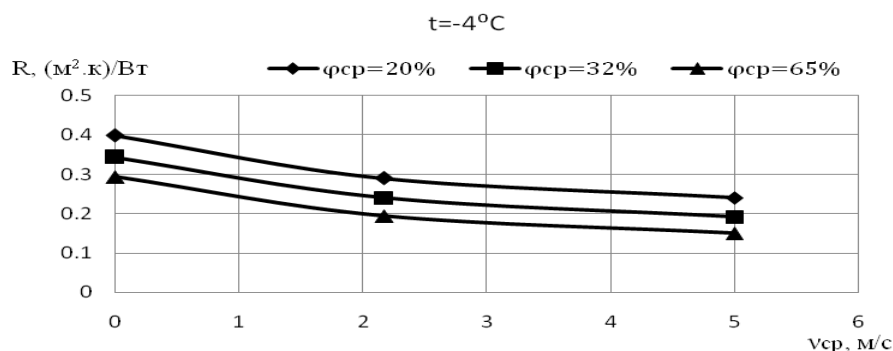


Рис. 3.5. Зависимость суммарного теплового сопротивления теплозащитной одежды для переходного периода года от скорости движения внешней среды при ее температуре -4°C

На рис. 3.6. представлена зависимость суммарного теплового сопротивления теплозащитной одежды для переходного периода года от относительной влажности внешней среды при ее температуре -4°C .

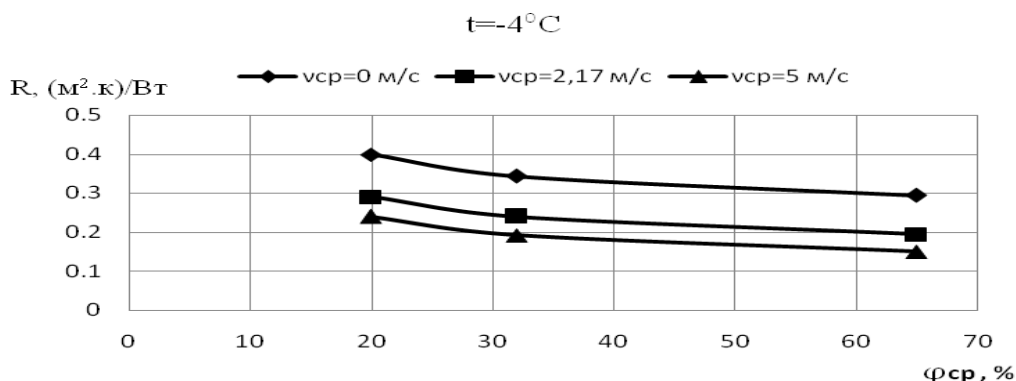


Рис. 3.6. Зависимость суммарного теплового сопротивления теплозащитной одежды для переходного периода года от относительной влажности внешней среды при ее температуре -4°C

Как показывают табличные данные и графики, представленные на рис. 3.5 и 3.6, при температуре внешней среды -4°C увеличение скорости движения внешней среды от 0 до 5,0 м/с приводит к уменьшению суммарного теплового сопротивления теплозащитной одежды при всех значениях относительной влажности внешней среды, причем при относительной влажности среды 20% увеличение скорости ее движения от 0 до 2,17 м/с приводит к уменьшению суммарного теплового сопротивления одежды на 27,3%, при относительной влажности среды 32% - на 30,0% и при относительной влажности среды 65% - на 34,0%.

При температуре внешней среды -4°C и скорости ее движения 0 м/с увеличение относительной влажности среды от 20 до 32% приводит к падению суммарного теплового сопротивления одежды на 14,8%, а увеличение относительной влажности среды от 20 до 65% на 26,3%; при скорости движения 2,17 м/с соответственно на 17,2 и 33,1; при скорости движения внешней среды 5,0 м/с – соответственно на 20,0 и 37,5%.

При температуре внешней среды -4°C увеличение скорости движения внешней среды от 0 до 5,0 м/с приводит к уменьшению суммарного теплового сопротивления одежды на 39,8% при относительной влажности среды 20%, на 44,0% при относительной влажности среды 32% и на 48,9% при относительной влажности внешней среды 65%.

На рис. 3.7-3.9 представлены гистограммы суммарного теплового сопротивления теплозащитной верхней одежды для переходного периода года при различных сочетаниях факторов внешней среды: температуры, скорости движения и относительной влажности.

Значения суммарных тепловых сопротивлений получены на основании проведенных на разработанной установке экспериментальных исследований по методу регулярного теплового режима.

Анализ табличных данных (табл. 3.1-3.3) и гистограмм (рис. 3.7-3.9) показывает, что при фиксированной скорости движения внешней среды 0 м/с с понижением ее температуры от 10°C до 2°C , суммарное теплое сопротивление теплозащитной верхней одежды для переходного периода уменьшается на 2,86% при относительной влажности среды 20%, на 3,29% при относительной влажности 32% и на 3,50% при 65%.

Увеличение темпа изменения суммарного теплового сопротивления одежды с понижением температуры внешней среды от 10°C до 2°C при фиксированной скорости ее движения, равной 0 м/с связано с повышением относительной влажности среды от 20% до 65%.

При фиксированной скорости движения внешней среды 0 м/с с понижением ее температуры от 10°C до -4°C , суммарное теплое сопротивление теплозащитной одежды для переходного периода года уменьшается на 5,0% при относительной влажности среды 20%, на 6,03% при относительной влажности 32% и на 6,37% при 65%. Увеличение темпа изменения суммарного теплового сопротивления одежды с понижением температуры внешней среды от 10°C до -4°C при фиксированной скорости ее движения, равной 0 м/с связано с повышением относительной влажности среды от 20% до 65%.

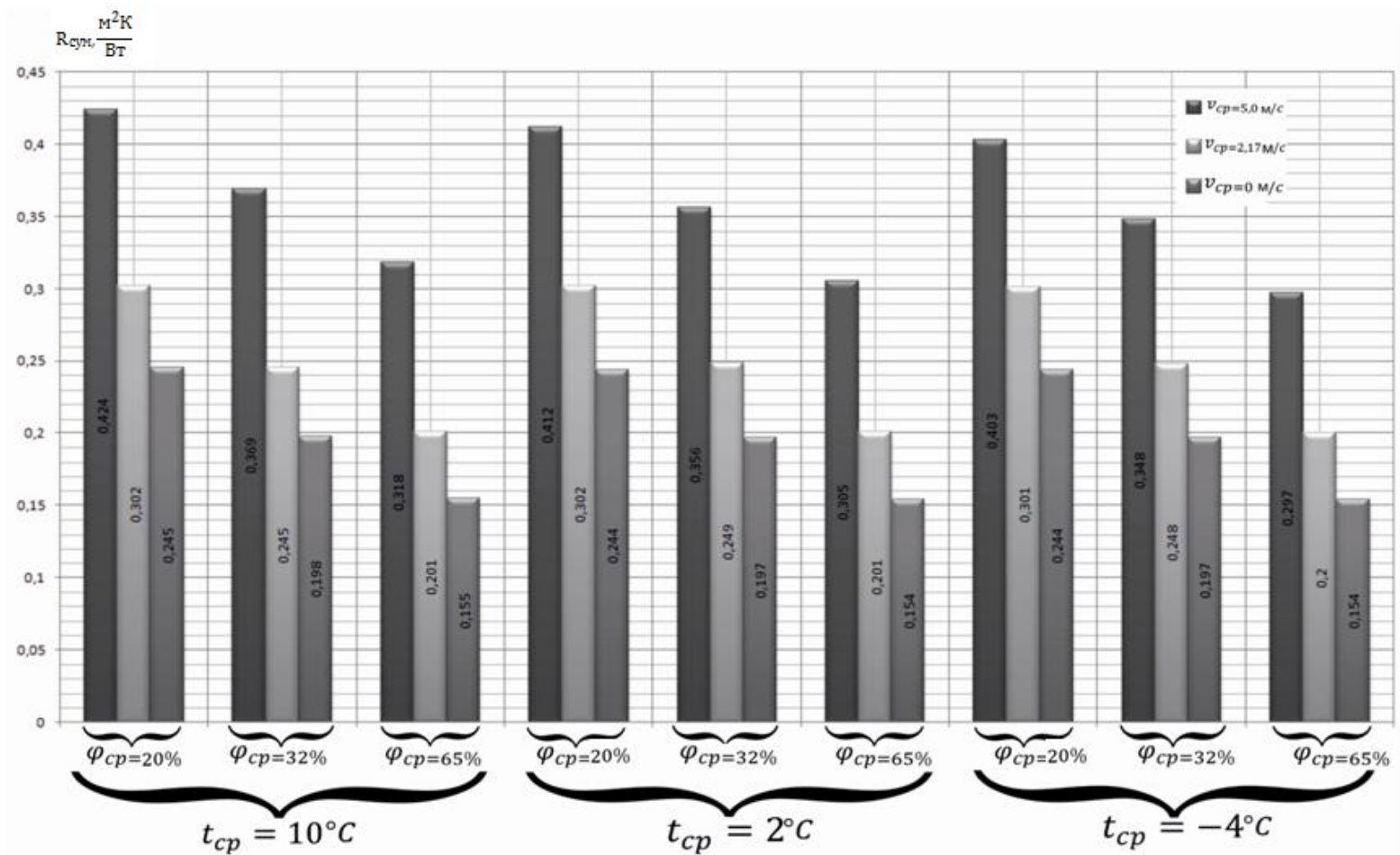


Рис. 3.7. Гистограмма зависимости суммарного теплового сопротивления теплозащитной верхней одежды для переходного периода года от температуры внешней среды ($10, 2$ и $-4^{\circ}C$) при фиксированных в пределах каждой температуры относительных влажностях среды ($20, 32$ и 65%) и фиксированных пределах каждой относительной влажности скоростях движения среды ($0; 2,17$ и 5 м/с)

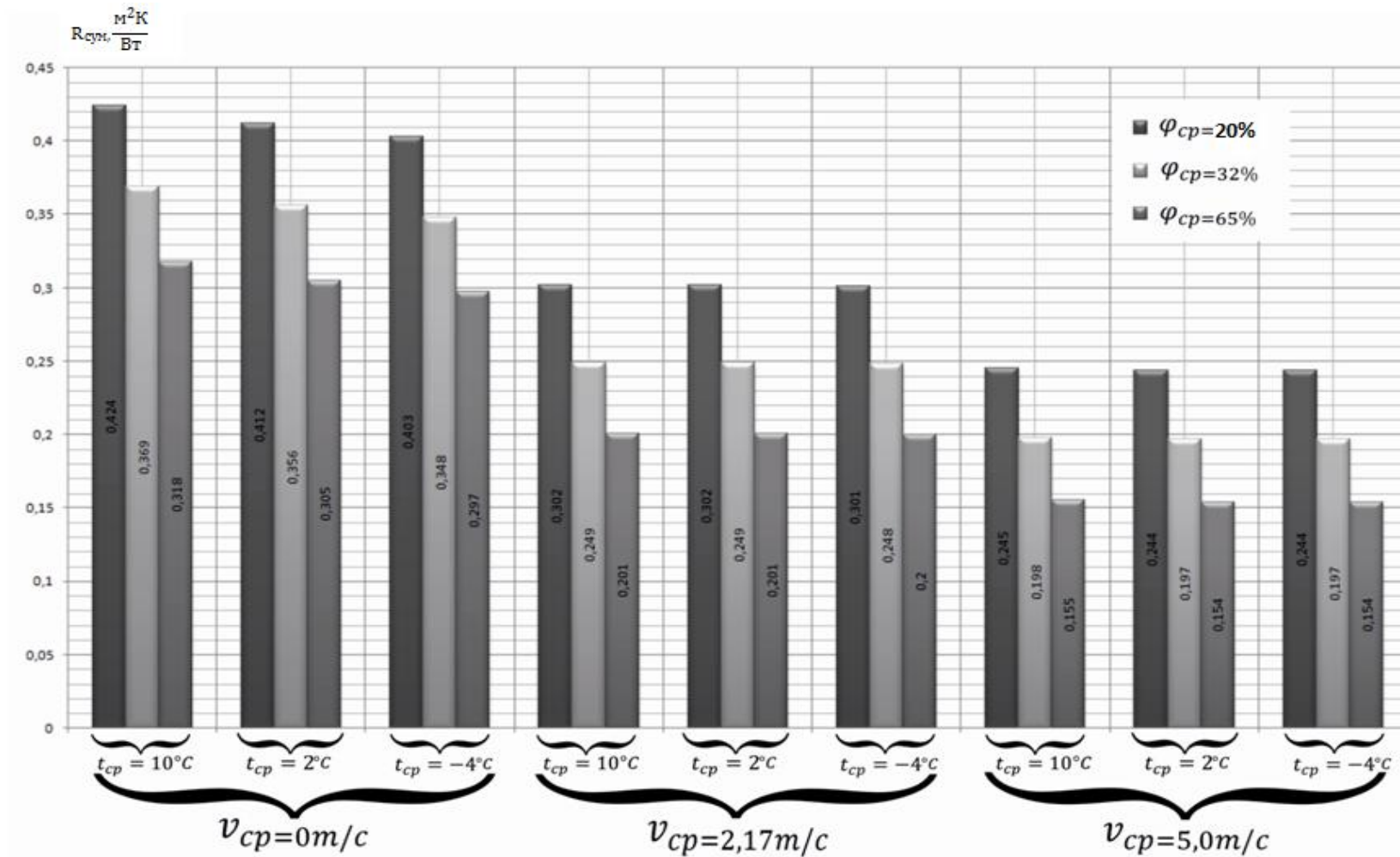


Рис. 3.8 . Гистограмма зависимости суммарного теплового сопротивления теплозащитной верхней одежды для переходного периода года от скорости движения внешней среды (0; 2,17 и 5 м/с) при фиксированных в пределах каждой скорости температурах среды (10, 2 и -4°C) и фиксированных в пределах каждой температуры относительных влажностях среды (20, 32 и 65%)

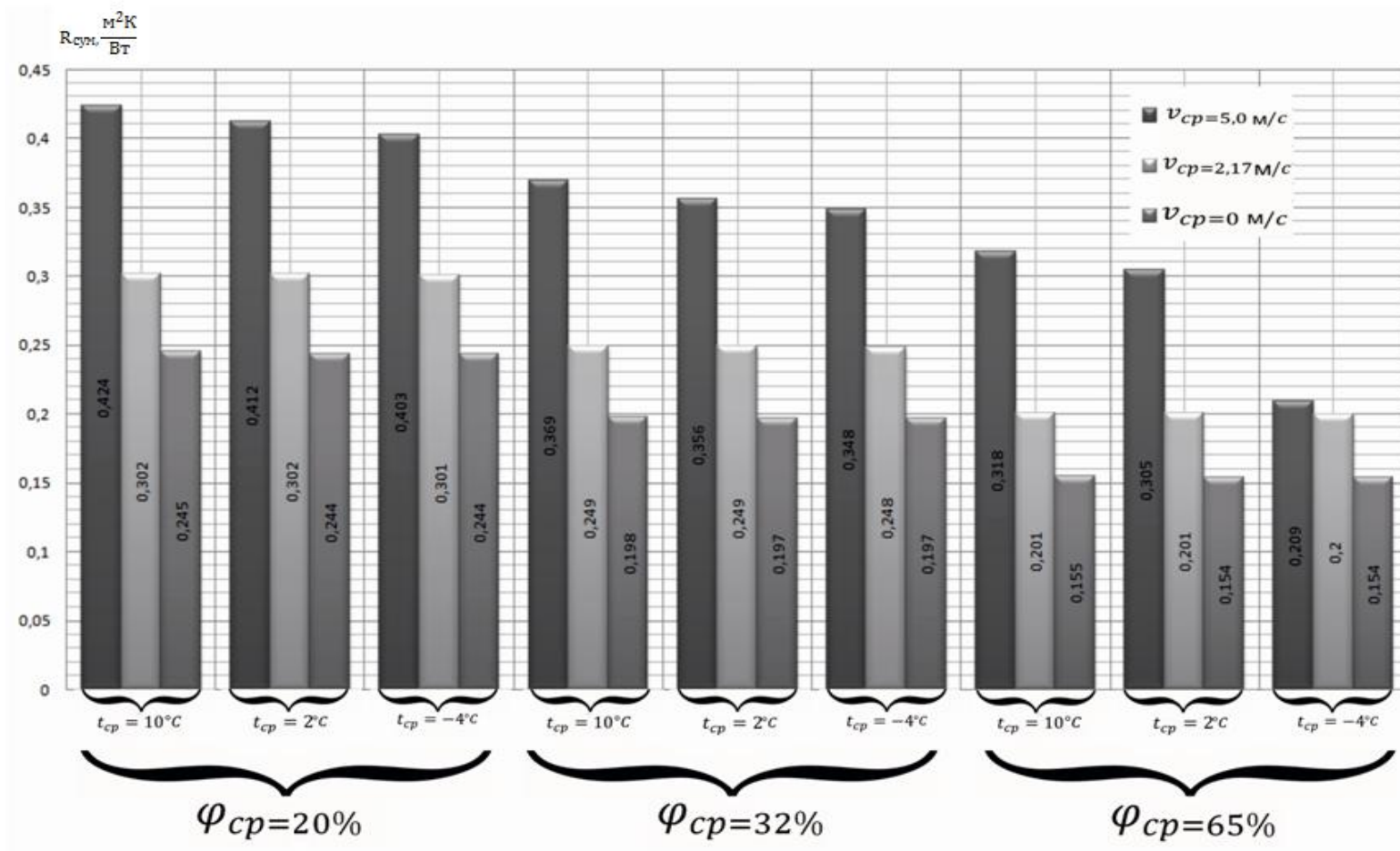


Рис. 3.9 . Гистограмма зависимости суммарного теплового сопротивления теплозащитной верхней одежды для переходного периода года от относительной влажности среды (20, 32 и 65%) при фиксированных в пределах каждой влажности температурах среды (10, 2 и -4°С) и фиксированных пределах каждой температуры скоростях движения среды (0; 2,17 и 5 м/с)

При фиксированных скоростях движения внешней среды 2,17 м/с и 5,0 м/с с изменением ее температуры от 10°C до 2°C суммарное тепловое сопротивление теплозащитной одежды для переходного периода года почти не изменяется при всех значениях относительной влажности внешней среды 20%, 32% и 65%. Аналогичная картина наблюдается при изменении температуры внешней среды от 10°C до -4°C и фиксированных скоростях движения внешней среды 2,17 м/с и 5,0 м/с.

При фиксированной относительной влажности внешней среды 20% с понижением ее температуры от 10°C до 2°C суммарное тепловое сопротивление одежды уменьшается на 2,86% при скорости движения среды 0 м/с, на 0,34% при скорости 2,17 м/с и не изменяется при скорости 5,0 м/с.

При фиксированной относительной влажности внешней среды 32% с понижением ее температуры от 10°C до 2°C суммарное тепловое сопротивление одежды уменьшается на 3,29% при скорости движения среды 0 м/с, на 0,83% при скорости 2,17 м/с и на 0,5% при скорости 5,0 м/с.

При фиксированной относительной влажности внешней среды 65% с понижением ее температуры от 10°C до 2°C суммарное тепловое сопротивление одежды уменьшается на 3,5% при скорости движения среды 0 м/с, на 0% при скорости 2,17 м/с и на 0,6% при скорости 5,0 м/с.

При фиксированной относительной влажности внешней среды 20% с понижением ее температуры от 10°C до -4°C происходит уменьшение суммарного теплового сопротивления одежды на 5,0% при скорости движения среды 0 м/с, на 1,02% при скорости движения среды 2,17 м/с и на 0% при скорости 5,0 м/с.

При фиксированной относительной влажности внешней среды 32% с понижением ее температуры от 10°C до -4°C происходит уменьшение суммарного теплового сопротивления одежды на 6,03% при скорости движения среды 0 м/с, на 0,83% при скорости движения среды 2,17 м/с и на 1,03% при скорости движения среды 5,0 м/с.

При фиксированной относительной влажности внешней среды 65% с понижением ее температуры от от 10°C до -4°C происходит уменьшение суммарного теплового сопротивления одежды на 6,37% при скорости движения среды 0 м/с, на

0,51% при скорости движения среды 2,17 м/с и на 1,32% при скорости движения среды 5,0 м/с.

3.2. Экспериментальная оценка теплозащитных свойств одежды холодного периода года под воздействием факторов внешней среды по методу регулярного режима охлаждения

В рамках диссертационной работы предлагается определить теплозащитные свойства одежды холодного периода года под воздействием внешних факторов по методу регулярного режима охлаждения. Выбранный пакет верхней одежды для холодного периода года надевается на полый манекен, во внутрь которого заливается вода с температурой 36,6°C. Манекен с одеждой устанавливается на диск установки, при помощи которой обеспечиваются различные положения манекена относительно внешней воздушной среды.

Путем установки различных комбинаций определяющих параметров внешней среды обеспечиваются различные климатические условия (скорость, движения, влажность и температура внешней среды). Темп охлаждения и суммарное тепловое сопротивление одежды определялось по методике, изложенной в параграфе 3.1.

Экспериментальному исследованию подвергался пакет теплозащитной одежды для холодного периода года с толщинами $30,2 \cdot 10^{-3}$ м.

Температура внешней среды в экспериментах составляла -4°C, -10°C и -15°C. Относительная влажность воздушной среды составляла 20%, 32%, 65%. Влажность пакета материалов теплозащитной одежды холодного периода года определялась при значениях относительной влажности внешней среды $\varphi=20\%$, $\varphi=32\%$ и $\varphi=65\%$ по формуле [98, 101]

$$W = \frac{(M_{\text{вл}} - M_{\text{сух}})}{M_{\text{вл}}} \cdot 100\%$$

Масса сухого пакета материалов определялась путем его полной сушки и взвешивания на аналитических весах марки АДВ-200: $M_{\text{сух}} = 2,57$ кг. При определенной относительной влажности внешней среды φ пакет материалов

увлажнялся в течение 600 с и снова взвешивался на аналитических весах и определялась его масса после увлажнения.

$$\text{При } \varphi = 20\%, M_{\text{вл}} = 2,850 \text{ кг, } W = \frac{(2,850 - 2,570)}{2,850} \cdot 100 = 10\%$$

$$\text{При } \varphi = 32\%, M_{\text{вл}} = 3,024 \text{ кг, } W = \frac{(3,024 - 2,570)}{3,024} \cdot 100 = 15\%$$

$$\text{При } \varphi = 65\%, M_{\text{вл}} = 3,671 \text{ кг, } W = \frac{(3,671 - 2,570)}{3,671} \cdot 100 = 30\%$$

Путем аппроксимации экспериментальных данных нами получено уравнение, связывающее влажность пакета материалов с относительной влажностью внешней среды для холодного периода года. $W\% = (0,144 + 0,139 \cdot \varphi\%) \cdot (100 - t_{\text{cp}})^{0,25}$

Воздухопроницаемость пакета теплозащитной одежды для холодного периода года незначительна, вследствие малой воздухопроницаемости наружного слоя.

Ниже в табл. 3.4- 3.6. приведены промежутки времени τ_1 и τ_2 , темп охлаждения m и суммарное тепловое сопротивление теплозащитной верхней одежды для холодного периода года при различных скоростях движения v_{cp} , относительных влажностях φ_{cp} и температурах внешней среды $t_{\text{cp}} = -4, -10$ и -15°C .

Таблица 3.4.

Промежутки времени (τ_1, τ_2), темп охлаждения (m) и суммарное тепловое сопротивление ($R_{\text{сум}}$) теплозащитной одежды для холодного периода года при температуре внешней среды -4°C и ее различных скоростях движения (v_{cp}) и относительной влажности (φ_{cp})

Температура внешней среды, $t_{\text{cp}}, ^\circ\text{C}$	Скорость движения $v_{\text{cp}}, \text{м/с}$	Относительная влажность, $\varphi_{\text{cp}}, \%$	Промежутки времени		Темп охлаждения $m \cdot 10^5, \text{с}^{-1}$	Суммарное тепловое сопротивление, $R_{\text{сум}}, (\text{м}^2 \cdot \text{К})/\text{Вт}$
			$\tau_1, \text{с}$	$\tau_2, \text{с}$		
-4°C	0	20	18600	40020	0,706	0,686
		32	16380	35220	0,803	0,603
		65	14100	30360	0,931	0,520
	2,17	20	15540	33480	0,843	0,574
		32	13440	28920	0,977	0,495
		65	11280	24240	1,167	0,415
	5	20	13920	29940	0,944	0,513
		32	11880	25620	1,101	0,440
		65	9900	21240	1,334	0,363

Таблица 3.5.

Промежутки времени (τ_1 , τ_2), темп охлаждения (m) и суммарное тепловое сопротивление ($R_{\text{сум}}$) теплозащитной одежды для переходного периода года при температуре внешней среды -10°C и ее различных скоростях движения (v_{cp}) и относительной влажности (φ_{cp})

Температура внешней среды, $t_{\text{cp}}, ^\circ\text{C}$	Скорость движения $v_{\text{cp}}, \text{м/с}$	Относительная влажность, $\varphi_{\text{cp}}, \%$	Промежутки времени		Темп охлаждения, $\text{м} \cdot 10^5, \text{с}^{-1}$	Суммарное тепловое сопротивление $R_{\text{сум}}, (\text{м}^2 \cdot \text{К})/\text{Вт}$
			$\tau_1, \text{с}$	$\tau_2, \text{с}$		
-10°C	0	20	15900	33900	0,712	0,680
		32	14040	29880	0,809	0,598
		65	12060	25620	0,945	0,512
	2,17	20	13440	28620	0,844	0,573
		32	11580	24720	0,975	0,496
		65	9720	20700	1,167	0,415
	5	20	12000	25560	0,945	0,512
		32	10320	21900	1,106	0,438
		65	8520	18180	1,326	0,364

Таблица 3.6.

Промежутки времени (τ_1 , τ_2), темп охлаждения (m) и суммарное тепловое сопротивление ($R_{\text{сум}}$) теплозащитной одежды для переходного периода года при температуре внешней среды -15°C и ее различных скоростях движения (v_{cp}) и относительной влажности (φ_{cp})

Температура внешней среды, $t_{\text{cp}}, ^\circ\text{C}$	Скорость движения $v_{\text{cp}}, \text{м/с}$	Относительная влажность, $\varphi_{\text{cp}}, \%$	Промежутки времени		Темп охлаждения $\text{м} \cdot 10^5, \text{с}^{-1}$	Суммарное тепловое сопротивление, $R_{\text{сум}}, (\text{м}^2 \cdot \text{К})/\text{Вт}$
			$\tau_1, \text{с}$	$\tau_2, \text{с}$		
-15°C	0	20	14220	30060	0,717	0,675
		32	12480	26400	0,815	0,594
		65	10740	22620	0,955	0,507
	2,17	20	12060	25500	0,844	0,573
		32	10440	22020	0,980	0,494
		65	8760	18480	1,168	0,414
	5	20	10740	22740	0,947	0,511
		32	9240	19560	1,106	0,440
		65	7680	16200	1,332	0,363

На рис. 3.10 представлена зависимость суммарного теплового сопротивления теплозащитной одежды для холодного периода года от скорости движения внешней среды при ее температуре -4°C .

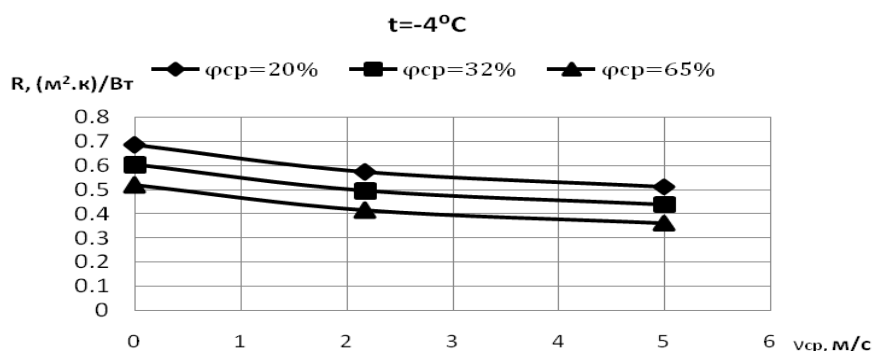


Рис. 3.10. Зависимость суммарного теплового сопротивления теплозащитной одежды для холодного периода года от скорости движения внешней среды при ее температуре -4°C .

На рис. 3.11 представлена зависимость суммарного теплового сопротивления теплозащитной одежды для холодного периода года от относительной влажности внешней среды при ее температуре -4°C .

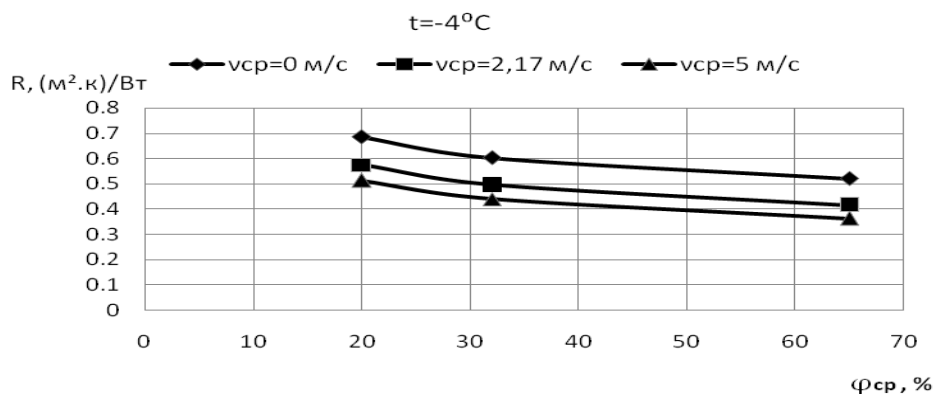


Рис. 3.11. Зависимость суммарного теплового сопротивления теплозащитной одежды для холодного периода года от относительной влажности внешней среды при ее температуре -4°C .

Как показывают табличные данные и графики, представленные на рис. 3.10 и 3.11, при температуре внешней среды -4°C увеличение скорости движения внешней среды от 0 до 5,0 $\text{м} / \text{с}$ приводит к уменьшению суммарного теплового сопротивления

теплозащитной одежды при всех значениях относительной влажности внешней среды, причем при относительной влажности среды 10% увеличение скорости ее движения от 0 до 2,17 м/с приводит к уменьшению суммарного теплового сопротивления одежды на 16,3%, при относительной влажности среды 32% - на 17,9% и при относительной влажности среды 65% - на 20,2%.

При температуре внешней среды -4°C и скорости ее движения 0 м/с увеличение относительной влажности среды от 10 до 32% приводит к падению суммарного теплового сопротивления одежды на 12,09%, а увеличение относительной влажности среды от 10 до 65% на 26,8%; при скорости движения 2,17 м/с соответственно на 13,8 и 27,7; при скорости движения внешней среды 5,0 м/с – соответственно на 14,2 и 29,2%.

При температуре внешней среды -4°C увеличение скорости движения внешней среды от 0 до 5,0 м/с приводит к уменьшению суммарного теплового сопротивления одежды на 25,2% при относительной влажности среды 10%, на 27,0% при относительной влажности среды 32% и на 30,2% при относительной влажности внешней среды 65%.

На рис. 3.12 представлена зависимость суммарного теплового сопротивления теплозащитной одежды для холодного периода года от скорости движения внешней среды при ее температуре -10°C .

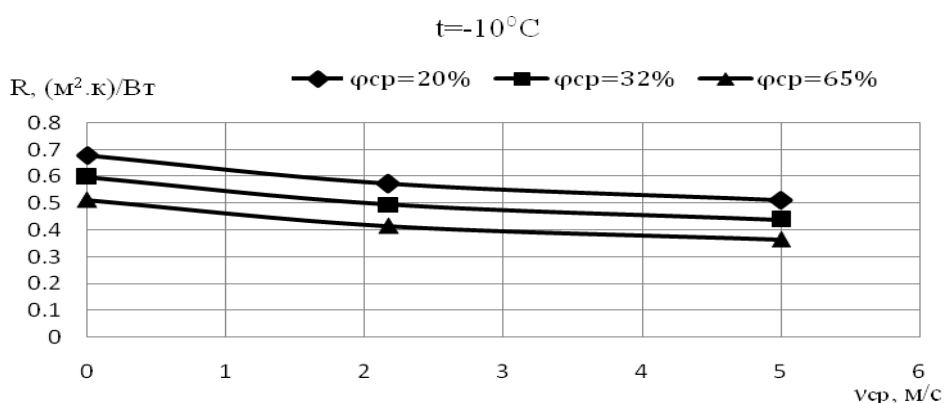


Рис. 3.12. Зависимость суммарного теплового сопротивления теплозащитной одежды для холодного периода года от скорости движения внешней среды при ее температуре -10°C

На рис. 3.13 представлена зависимость суммарного теплового сопротивления теплозащитной одежды для холодного периода года от относительной влажности внешней среды при ее температуре -10°C .

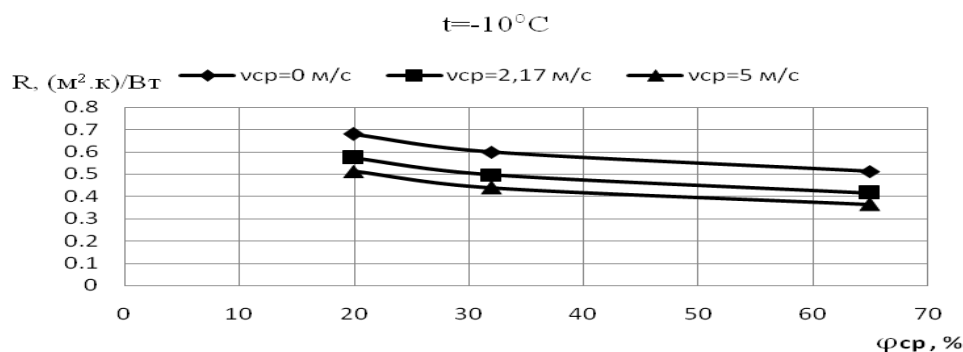


Рис. 3.13. Зависимость суммарного теплового сопротивления теплозащитной одежды для холодного периода года от относительной влажности внешней среды при ее температуре -10°C

Как показывают табличные данные и графики, представленные на рис. 3.12 и 3.13, при температуре внешней среды -10°C увеличение скорости движения внешней среды от 0 до 5,0 м/с приводит к уменьшению суммарного теплового сопротивления теплозащитной одежды при всех значениях относительной влажности внешней среды, причем при относительной влажности среды 20% увеличение скорости ее движения от 0 до 2,17 м/с приводит к уменьшению суммарного теплового сопротивления одежды на 15,7%, при относительной влажности среды 32% - на 17,1% и при относительной влажности среды 65% - на 18,9%.

При температуре внешней среды -10°C и скорости ее движения 0 м/с увеличение относительной влажности среды от 20 до 32% приводит к падению суммарного теплового сопротивления одежды на 12,06%, а увеличение относительной влажности среды от 20 до 65% на 24,7%; при скорости движения 2,17 м/с соответственно на 13,4 и 27,6; при скорости движения внешней среды 5,0 м/с – соответственно на 14,4 и 28,9%.

При температуре внешней среды -10°C увеличение скорости движения внешней

среды от 0 до 5,0 м/с приводит к уменьшению суммарного теплового сопротивления одежды на 24,7% при относительной влажности среды 20%, на 26,7% при относительной влажности среды 32% и на 28,9% при относительной влажности внешней среды 65%.

На рис. 3.14 представлена зависимость суммарного теплового сопротивления теплозащитной одежды для холодного периода года от скорости движения внешней среды при ее температуре -15°C .

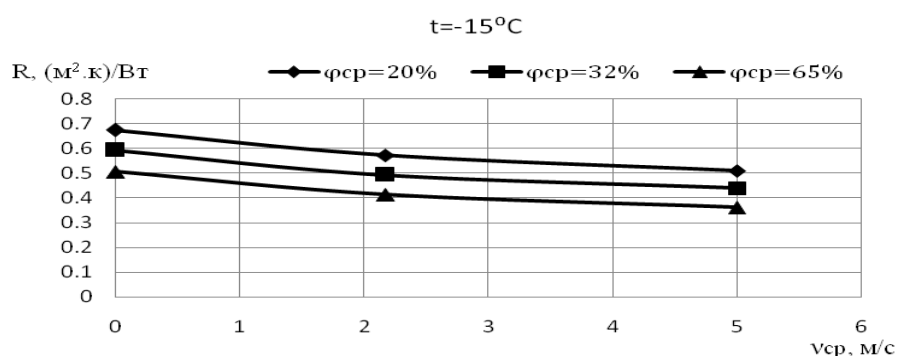


Рис. 3.14. Зависимость суммарного теплового сопротивления теплозащитной одежды для холодного периода года от скорости движения внешней среды при ее температуре -15°C .

На рис. 3.15 представлена зависимость суммарного теплового сопротивления теплозащитной одежды для холодного периода года от относительной влажности внешней среды при ее температуре -15°C .

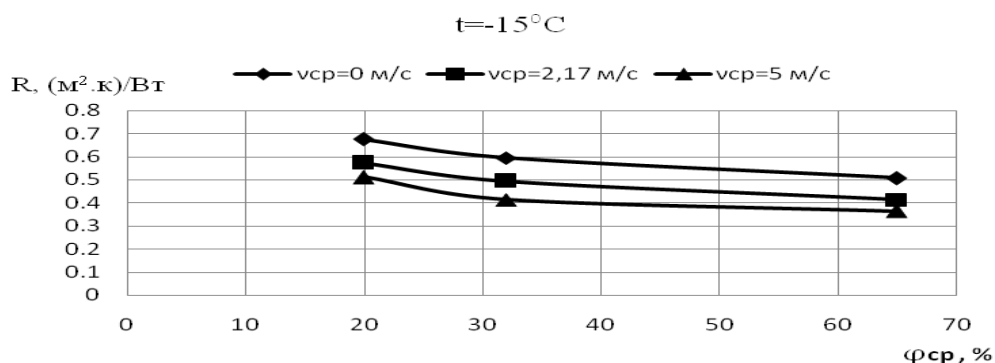


Рис. 3.15. Зависимость суммарного теплового сопротивления теплозащитной одежды для холодного периода года от относительной влажности внешней среды при ее температуре -15°C

Как показывают табличные данные и графики, представленные на рис. 3.14 и 3.15, при температуре внешней среды -15°C увеличение скорости движения внешней среды от 0 до 5,0 м/с приводит к уменьшению суммарного теплового сопротивления теплозащитной одежды при всех значениях относительной влажности внешней среды, причем при относительной влажности среды 20% увеличение скорости ее движения от 0 до 2,17 м/с приводит к уменьшению суммарного теплового сопротивления одежды на 15,1%, при относительной влажности среды 32% - на 16,8% и при относительной влажности среды 65% - на 18,3%.

При температуре внешней среды -15°C и скорости ее движения 0 м/с увеличение относительной влажности среды от 20 до 32% приводит к падению суммарного теплового сопротивления одежды на 12,0%, а увеличение относительной влажности среды от 20 до 65% на 24,8%; при скорости движения 2,17 м/с соответственно на 13,8 и 27,7; при скорости движения внешней среды 5,0 м/с – соответственно на 13,9 и 29,0%.

При температуре внешней среды -15°C увеличение скорости движения внешней среды от 0 до 5,0 м/с приводит к уменьшению суммарного теплового сопротивления одежды на 24,3% при относительной влажности среды 20%, на 25,9% при относительной влажности среды 32% и на 28,4% при относительной влажности внешней среды 65%.

На рис. 3.16 - 3.18 представлены гистограммы суммарного теплового сопротивления теплозащитной верхней одежды для холодного периода года при различных сочетаниях факторов внешней среды: температуры, скорости движения и относительной влажности. Значения суммарных тепловых сопротивлений получены на основании проведенных на разработанной установке экспериментальных исследований по методу регулярного теплового режима.

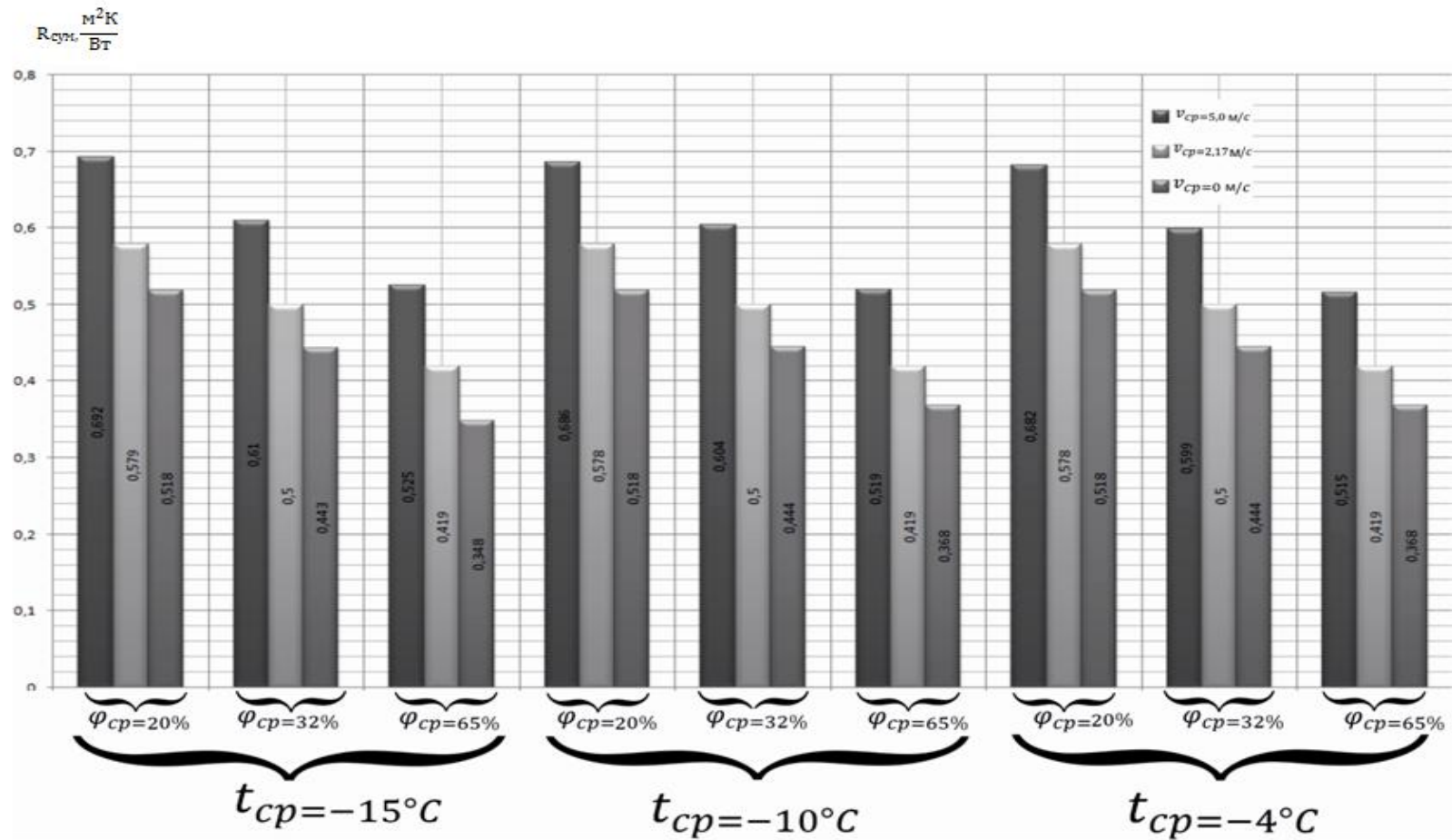


Рис. 3.16 Гистограмма зависимости суммарного теплового сопротивления теплозащитной верхней одежды для холодного периода года от температуры внешней среды (-4 , -10 и $-15^{\circ}C$) при фиксированных в пределах каждой температуры относительных влажностях среды (20, 32 и 65%) и фиксированных пределах каждой относительной влажности скоростях движения среды (0; 2,17 и 5 м/с)

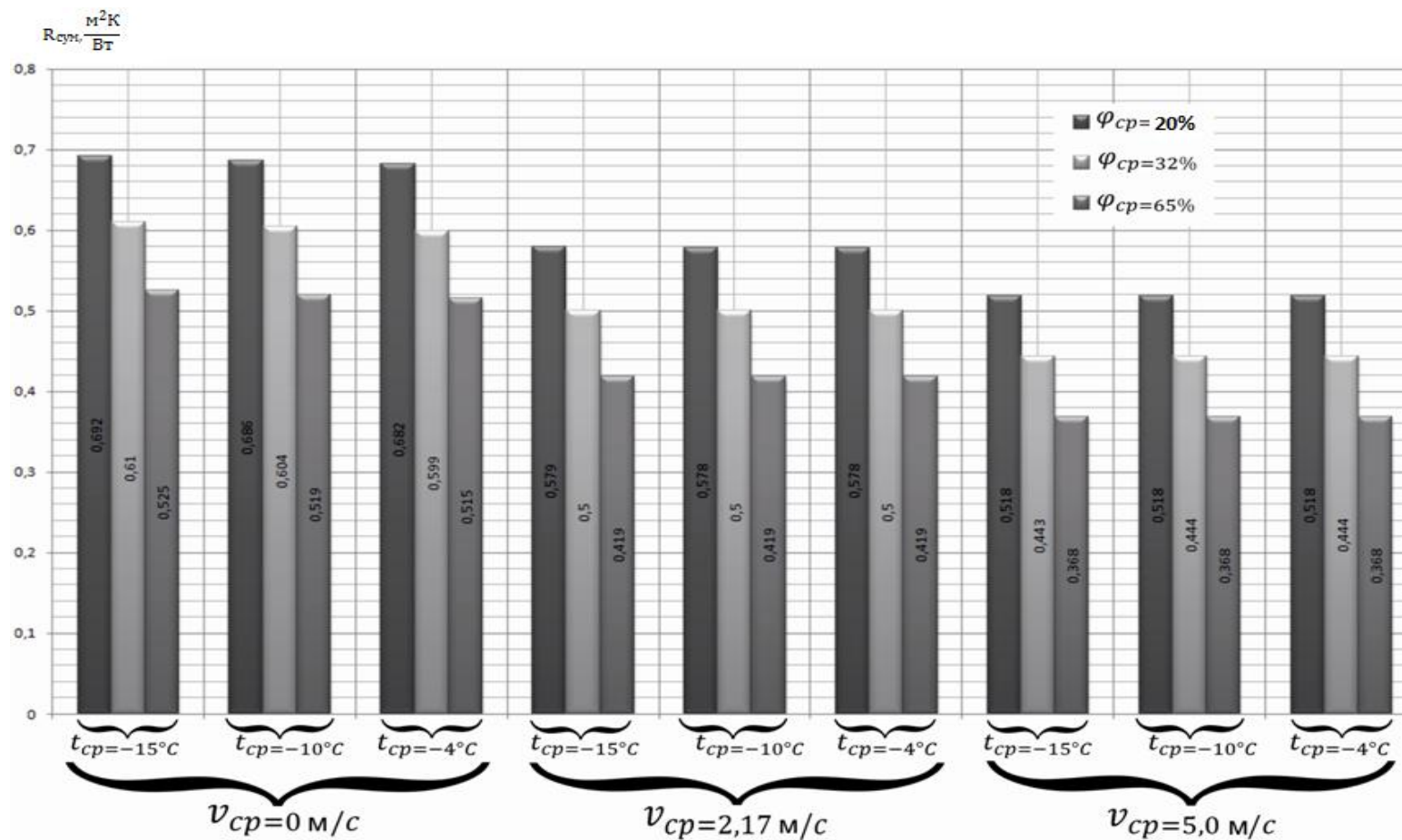


Рис. 3. 17. Гистограмма зависимости суммарного теплового сопротивления теплозащитной верхней одежды для холодного периода года от скорости движения внешней среды (0; 2,17 и 5 м/с) при фиксированных в пределах каждой скорости температурах среды (-4, -10 и -15 °С) и фиксированных в пределах каждой температуры относительных влажностях среды (20, 32 и 65%)

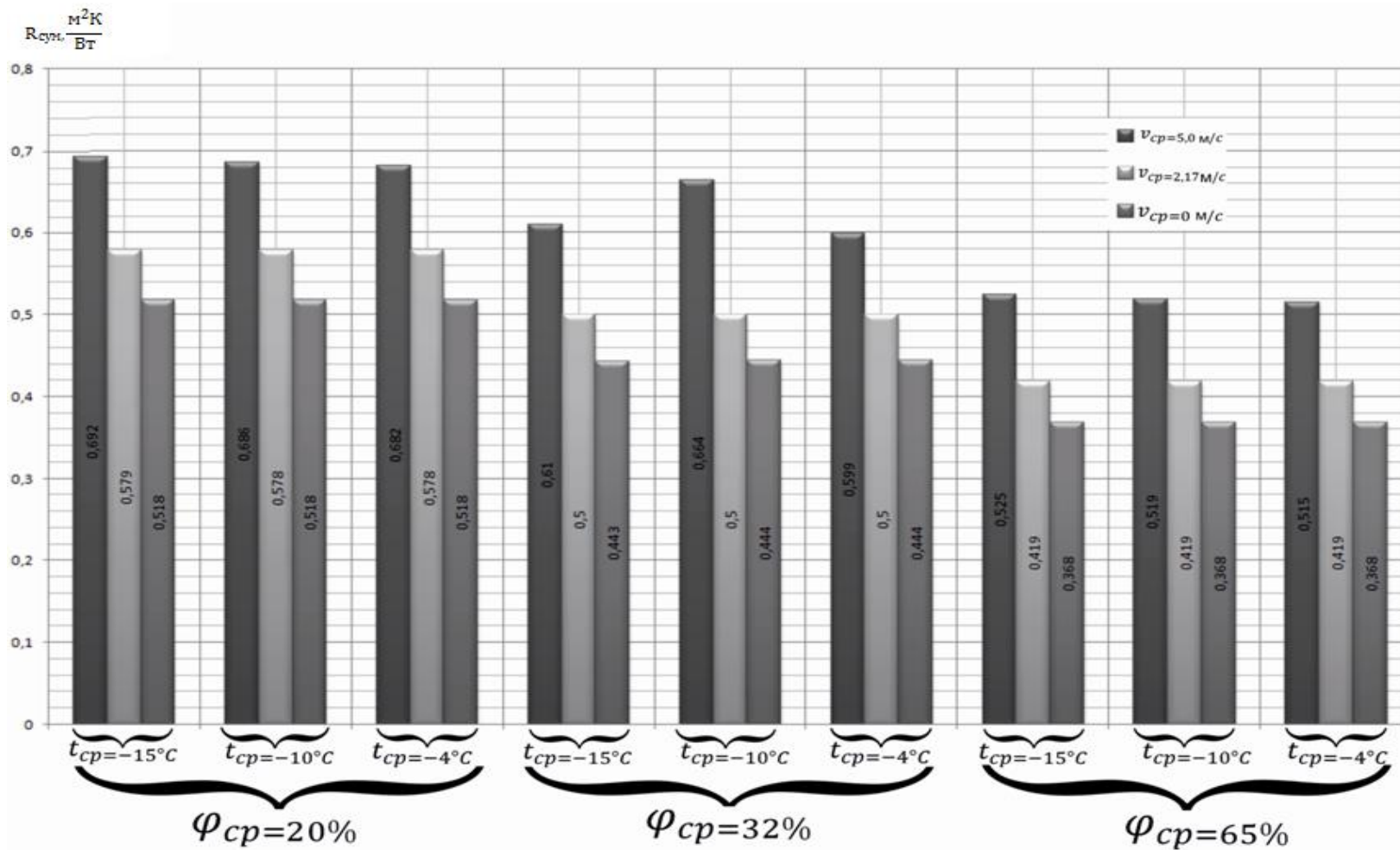


Рис. 3.18. Гистограмма зависимости суммарного теплового сопротивления теплозащитной верхней одежды для холодного периода года от относительной влажности среды (20, 32 и 65%) при фиксированных в пределах каждой влажности температурах среды (-4, -10 и -15 °C) и фиксированных пределах каждой температуры скоростях движения среды (0; 2,17 и 5 м/с)

Анализ табличных данных (табл. 3.4-3.6) и гистограмм (рис. 3.16-3.18) показывает, что при фиксированной скорости движения внешней среды 0 м/с с понижением ее температуры от -4°C до -10°C , суммарное тепловое сопротивление теплозащитной верхней одежды для переходного периода уменьшается на 0,9% при относительной влажности среды 20%, на 0,8% при относительной влажности 32% и на 1,5% при 65%.

Увеличение темпа изменения суммарного теплового сопротивления одежды с понижением температуры внешней среды от -4°C до -10°C при фиксированной скорости ее движения, равной 0 м/с связано с повышением относительной влажности среды от 20% до 65%. При фиксированной скорости движения внешней среды 0 м/с с понижением ее температуры от -4°C до -15°C , суммарное тепловое сопротивление теплозащитной одежды для переходного периода года уменьшается на 1,6% при относительной влажности среды 20%, на 1,5% при относительной влажности 32% и на 2,5% при 65%. Увеличение темпа изменения суммарного теплового сопротивления одежды с понижением температуры внешней среды от -4°C до -15°C , при фиксированной скорости ее движения, равной 0 м/с связано с повышением относительной влажности среды от 20% до 65%.

При фиксированных скоростях движения внешней среды 2,17 м/с и 5,0 м/с с изменением ее температуры от -4°C до -10°C суммарное тепловое сопротивление теплозащитной одежды для переходного периода года почти не изменяется при всех значениях относительной влажности внешней среды 20%, 32% и 65%. Аналогичная картина наблюдается при изменении температуры внешней среды от -4°C до -15°C и фиксированных скоростях движения внешней среды 2,17 м/с и 5,0 м/с.

При фиксированной относительной влажности внешней среды 20% с понижением ее температуры от -4°C до -10°C суммарное тепловое сопротивление одежды уменьшается на 0,9% при скорости движения среды 0 м/с, на 0,2% при скоростях 2,17 м/с и 5,0 м/с. При фиксированной относительной влажности внешней среды 32% с понижением ее температуры от -4°C до -10°C суммарное тепловое

сопротивление одежды уменьшается на 0,8% при скорости движения среды 0 м/с, не изменяется при скорости 2,17 м/с и на 0,4% при скорости 5,0 м/с.

При фиксированной относительной влажности внешней среды 65% с понижением ее температуры от -4°C до -10°C суммарное тепловое сопротивление одежды уменьшается на 1,5% при скорости движения среды 0 м/с, на 0% при скорости 2,17 м/с и не изменяется при скорости 5,0 м/с.

При фиксированной относительной влажности внешней среды 20% с понижением ее температуры от -4°C до -15°C происходит уменьшение суммарного теплового сопротивления одежды на 1,6% при скорости движения среды 0 м/с, на 0,2% при скорости движения среды 2,17 м/с и на 0,4% при скорости 5,0 м/с. При фиксированной относительной влажности внешней среды 32% с понижением ее температуры от -4°C до -15°C происходит уменьшение суммарного теплового сопротивления одежды на 0,8% при скорости движения среды 0 м/с, на 0,2% при скорости движения среды 2,17 м/с и не изменяется при скорости движения среды 5,0 м/с. При фиксированной относительной влажности внешней среды 65% с понижением ее температуры от -4°C до -15°C происходит уменьшение суммарного теплового сопротивления одежды на 2,5% при скорости движения среды 0 м/с, на 0,2% при скорости движения среды 2,17 м/с и не изменяется при скорости движения среды 5,0 м/с.

Таким образом, изменение относительной влажности и скорости движения внешней среды существенно влияет на теплозащитные свойства одежды переходного и холодного периодов года.

При контакте теплозащитной одежды с влажной внешней средой происходит увлажнение пакета ее материалов, причем с повышением относительной влажности внешней среды влажность пакета материалов одежды также увеличивается. Увлажнение пакета материалов приводит к резкому падению его суммарного теплового сопротивления и, как следствие, к снижению теплозащитных свойств

одежды. Падение суммарного теплового сопротивления одежды с увеличением ее влажности объясняется тем, что вода, находящаяся в порах пакета материалов одежды, имеет коэффициент теплопроводности в 20 раз превышающий коэффициент теплопроводности воздуха в порах среднего размера [72-73].

Кроме того, вследствие большой теплоемкости, вода поглощает в 11 раз больше тепла, чем воздух [75-76]. Необходимо иметь ввиду, что присутствие влаги в порах пакета материалов одежды увеличивает размеры контактных площадок между волокнами материалов, что также сказывается на снижении суммарного теплового сопротивления одежды. Еще более резкое влияние влажности пакета материалов на суммарное тепловое сопротивление одежды сказывается, когда влажный пакет материалов подвергается промерзанию, т.к. коэффициент теплопроводности льда в 60 раз больше, чем коэффициент теплопроводности воздуха в порах материалов одежды [74-76].

На основе проведенных экспериментальных исследований можно заключить, что относительный прирост коэффициента теплопроводности материалов одежды прямо пропорционален приросту влажности. Увлажнение материалов одежды сопровождается набуханием, объемной контракцией и выделением тепла. Намокание материалов одежды наряду с повышением их теплопроводности вызывает дополнительное снижение температуры на поверхности вследствие испарения влаги.

С увеличением скорости движения внешней среды происходит значительное снижение суммарного теплового сопротивления одежды и ее теплозащитных свойств. Объясняется это тем, что при сильном воздействии внешней среды разрушается слой воздуха, прилегающий к поверхности теплозащитной одежды, и влияет на микроклимат под одеждой. При этом резко усиливается теплоотдача конвекцией и испарением.

ВЫВОДЫ

1. При фиксированных скоростях движения внешней среды 2,17 м/с и 5,0 м/с с изменением ее температуры от 10°C до 2°C суммарное тепловое сопротивление теплозащитной одежды для переходного периода года почти не изменяется при всех значениях относительной влажности внешней среды 20%, 32% и 65%. Аналогичная картина наблюдается при изменении температуры внешней среды от 10°C до -4°C и фиксированных скоростях движения внешней среды 2,17 м/с и 5,0 м/с.

2. Изменение относительной влажности и скорости движения внешней среды существенно влияет на теплозащитные свойства одежды переходного и холодного периодов года.

3. При контакте теплозащитной одежды с влажной внешней средой происходит увлажнение пакета ее материалов, причем с повышением относительной влажности внешней среды влажность пакета материалов одежды также увеличивается. Увлажнение пакета материалов приводит к резкому падению его суммарного теплового сопротивления и, как следствие, к снижению теплозащитных свойств одежды.

4. Присутствие влаги в порах пакета материалов одежды увеличивает размеры контактных площадок между волокнами материалов, что также сказывается на снижении суммарного теплового сопротивления одежды. Еще более резкое влияние влажности пакета материалов на суммарное тепловое сопротивление одежды сказывается, когда влажный пакет материалов подвергается промерзанию.

5. Относительный прирост коэффициента теплопроводности материалов одежды прямо пропорционален приросту влажности. Увлажнение материалов одежды сопровождается набуханием, объемной контракцией и выделением тепла. Намокание материалов одежды наряду с повышением их теплопроводности вызывает дополнительное снижение температуры на поверхности вследствие испарения влаги.

6. С увеличением скорости движения внешней среды происходит значительное снижение суммарного теплового сопротивления одежды, так как при сильном воздействии внешней среды разрушается слой воздуха, прилегающий к поверхности теплозащитной одежды, и влияет на микроклимат под одеждой. При этом резко усиливается теплоотдача конвекцией и испарением.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОПОТЕРЬ С ПОВЕРХНОСТИ ТЕЛА ЧЕЛОВЕКА В ОДЕЖДЕ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЕЕ ТЕПЛОЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ

4.1. Экспериментальная оценка суммарного теплового сопротивления теплозащитной одежды и теплопотерь с поверхности манекена (человека) в одежде под воздействием факторов внешней среды

Для определения теплопотерь с поверхности тела человека в верхней теплозащитной одежде переходного и холодного периодов года под воздействием определяющих факторов внешней среды были проведены экспериментальные исследования на разработанной установке.

Манекен с наполненной водой устанавливался на диске разработанной установки в ее экспериментальном участке. На поверхности манекена поддерживалась постоянная температура 36,6°С с помощью встроенного в манекен термостата марки НХ-906.

В экспериментальном участке обеспечивалась определенная комбинация параметров внешней среды: температура, относительная влажность и скорость движения. Влажность пакета материалов изменялась в диапазоне от 10% до 30%, что соответствует изменению относительной влажности внешней среды в пределах от 10 до 65%.

Плотность теплового потока определялась при помощи разработанных измерителей теплового потока, установленных в шести точках поверхности верхней одежды.

По показаниям тепломерных датчиков определялась средняя плотность теплового потока, т.е. средние теплопотери с поверхности манекена как их среднеарифметическая величина.

Температура внешней среды определялась термометром марки ТМ-6 установленным в экспериментальном участке. Температура на поверхности манекена принималось примерно равной температуре воды в манекене (тепловым сопротивлением стенки манекена пренебрегаем ввиду его малости).

Температура воды в манекене поддерживалась на уровне 36,6°С при помощи термостата марки НХ-906 в течение всего эксперимента.

Температура на поверхности теплозащитной одежды определялась с помощью проградуированных термосопротивлений марки М, устанавливаемых в шести точках поверхности одежды после наступления стационарного теплового режима. По показаниям термосопротивлений определялась средняя температура на поверхности теплозащитной одежды как их среднеарифметическая величина.

Суммарное тепловое сопротивление теплозащитной верхней одежды, коэффициент теплопередачи и коэффициент теплоотдачи с поверхности одежды подсчитывались по следующим формулам [40, 72-73, 99-100].

$$R_{\text{сум}} = \frac{36,6 - t_{\text{ср}}}{q} \left[\frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}} \right]$$

$$k = \frac{1}{R_{\text{сум}}} = \frac{q}{36,6 - t_{\text{ср}}}$$

$$\alpha = \frac{q}{t_n - t_{\text{ср}}}$$

где $t_{\text{ср}}$ - температура внешней (воздушной) среды, °С; q - средняя плотность теплового потока с поверхности манекена, Вт/м²; t_n - средняя температура на наружной поверхности теплозащитной одежды, °С.

Результаты проведенных исследований для верхней теплозащитной одежды переходного периода года при температурах внешней среды 10, 2 и -4 °С приведены в таблицах 4.1.-4.3.

Анализ табличных данных 4.1. показывает, что при фиксированной скорости движения внешней среды 0 м/с и температуре 10°С повышение ее относительной влажности от 20 до 65% приводит к увеличению средних теплотерь с поверхности манекена в одежде на 33,3%, уменьшению суммарного теплового сопротивления одежды на 25%, повышению средней температуры на наружной поверхности одежды в 1,18 раза, что, по видимому, связано с выделением скрытой теплоты парообразования в средстве увлажнения пакета материалов. Коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности одежды почти не изменяется.

Таблица 4.1.

Плотность теплового потока, суммарное тепловое сопротивление, коэффициент теплопередачи, коэффициент теплоотдачи с наружной поверхности одежды при температуре внешней среды 10°C

Скорость движения внешней среды v_{cp} , м/с	Относительная влажность внешней среды φ , %	Экспериментальные данные		Расчетные данные			Суммарное тепловое сопротивление одежды $R_{сум}$, (м ² ·К)/Вт
		Средние теплотери с поверхности манекена в одежде q , Вт/м ²	Средняя температура на наружной поверхности одежды $t_{п}$, °С	Суммарное тепловое сопротивление одежды $R_{сум}$, (м ² ·К)/Вт	Коэффициент теплопередачи k , Вт/(м ² ·К)	Коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности одежды α , Вт/(м ² ·К)	
0	20	62,7	21,3	0,424	2,358	5,549	0,420
	32	72,1	23,0	0,369	2,710	5,546	0,365
	65	83,6	25,1	0,318	3,145	5,536	0,314
2,17	20	88,1	16,3	0,302	3,311	13,984	0,293
	32	106,8	17,6	0,249	4,016	14,053	0,242
	65	132,3	19,4	0,201	4,975	14,074	0,195
5	20	108,6	14,2	0,245	4,082	25,857	0,240
	32	134,3	15,2	0,198	5,051	25,827	0,194
	65	171,6	16,6	0,155	6,452	26,000	0,152

Таблица 4.2.

Плотность теплового потока, суммарное тепловое сопротивление, коэффициент теплопередачи, коэффициент теплоотдачи с наружной поверхности одежды при температуре внешней среды 2°С

Скорость движения внешней среды v_{cp} , м/с	Относительная влажность внешней среды φ , %	Экспериментальные данные		Расчетные данные			Суммарное тепловое сопротивление одежды $R_{сум}$, (м ² ·К)/Вт
		Средние теплотери с поверхности манекена в одежде q , Вт/м ²	Средняя температура на наружной поверхности одежды $t_{п}$, °С	Суммарное тепловое сопротивление одежды $R_{сум}$, (м ² ·К)/Вт	Коэффициент теплопередачи k , Вт/(м ² ·К)	Коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности одежды α , Вт/(м ² ·К)	
0	20	84,0	16,1	0,412	2,427	5,957	0,408
	32	97,2	18,3	0,356	2,809	5,963	0,353
	65	113,4	21,0	0,305	3,279	5,968	0,303
2,17	20	114,6	10,1	0,302	3,311	14,148	0,292
	32	139,0	11,8	0,249	4,016	14,184	0,240
	65	172,1	14,2	0,201	4,975	14,107	0,195
5	20	141,8	7,4	0,244	4,098	26,259	0,240
	32	175,6	8,7	0,197	5,076	26,209	0,193
	65	224,7	10,6	0,154	6,494	26,128	0,151

Таблица 4.3.

Плотность теплового потока, суммарное тепловое сопротивление, коэффициент теплопередачи, коэффициент теплоотдачи с наружной поверхности одежды при температуре внешней среды -4°C

Скорость движения внешней среды $v_{\text{ср}}$, м/с	Относительная влажность внешней среды φ , %	Экспериментальные данные		Расчетные данные			Суммарное тепловое сопротивление одежды $R_{\text{сум}}$, $(\text{м}^2 \cdot \text{К})/\text{Вт}$
		Средние теплотери с поверхности манекена в одежде q , $\text{Вт}/\text{м}^2$	Средняя температура на наружной поверхности одежды $t_{\text{г}}$, $^{\circ}\text{C}$	Суммарное тепловое сопротивление одежды $R_{\text{сум}}$, $(\text{м}^2 \cdot \text{К})/\text{Вт}$	Коэффициент теплопередачи k , $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$	Коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности одежды α , $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$	
0	20	100,7	12,1	0,403	2,481	6,255	0,399
	32	116,7	14,6	0,348	2,874	6,274	0,343
	65	136,7	17,8	0,297	3,367	6,271	0,294
2,17	20	134,9	5,5	0,301	3,322	14,200	0,290
	32	163,7	7,5	0,248	4,032	14,235	0,240
	65	203,0	10,3	0,200	5,000	14,196	0,194
5	20	166,4	2,4	0,244	4,098	26,00	0,240
	32	206,1	3,8	0,197	5,076	26,423	0,192
	65	263,6	6,0	0,154	6,494	26,360	0,150

При фиксированной скорости движения внешней среды 2,17 м/с и температуре 10°C с увеличением ее относительной влажности от 20 до 65% средние теплотери с поверхности манекена повышаются на 50,2%, суммарное тепловое сопротивление одежды понижается на 33,4%, температура на наружной поверхности одежды возрастает в 1,19 раза, коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности одежды почти не изменяется.

При фиксированной скорости движения внешней среды 5 м/с и температуре 10°C с рост ее относительной влажности от 20 до 65% приводит к увеличению средних теплотерь с поверхности манекена в одежде на 58%, уменьшению суммарного теплового сопротивления одежды на 36,7%, увеличению средней температуры на наружной поверхности одежды в 1,17 раза. Коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности одежды почти не изменяется.

При фиксированной относительной влажности внешней среды 20% и температуре 10°C увеличение скорости ее движения от 0 до 2,17 м/с приводит к повышению средних теплотерь с поверхности манекена в одежде (к снижению теплозащитных свойств одежды) 1,41 раза, уменьшению суммарного теплового сопротивления на 28,8%, снижению средней температуры на наружной поверхности одежды на 1,31 раза и уменьшению теплоотдачи от наружной поверхности одежды в 2,52 раза. При фиксированной относительной влажности внешней среды 65% и температуре 10°C указанные выше величины соответственно составляют: 1,58 раза, 36,8%, 1,29 раза, 2,54 раза.

При фиксированной относительной влажности внешней среды 32% и температуре 10°C увеличение скорости ее движения от 0 до 5,0 м/с приводит к повышению средних теплотерь с поверхности манекена в одежде в 1,73 раза, уменьшению суммарного теплового сопротивления на 42,2%, к снижению средней температуры на наружной поверхности одежды в 1,5 раза и уменьшению теплоотдачи от наружной поверхности одежды в 4,66 раза. При фиксированной относительной влажности внешней среды 65% и температуре 10°C указанные выше величины соответственно составляют: 2,74 раза, 51,3%, 1,51 раза и 4,7 раза.

Анализ табличных данных 4.2. показывает, что при фиксированной скорости движения внешней среды 0 м/с и температуре 2°С повышение ее относительной влажности от 20 до 65% приводит к увеличению средних теплотерь с поверхности манекена в одежде на 35%, уменьшению суммарного теплового сопротивления одежды на 26%, повышению средней температуры на наружной поверхности одежды в 1,30 раза, что, по видимому, связано с выделением скрытой теплоты парообразования в средстве увлажнения пакета материалов. Коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности одежды почти не изменяется.

При фиксированной скорости движения внешней среды 2,17 м/с и температуре 2°С с увеличением ее относительной влажности от 20 до 65% средние теплотери с поверхности манекена повышаются на 50,2%, суммарное тепловое сопротивление одежды понижается на 33,4%, температура на наружной поверхности одежды возрастает в 1,41 раза, коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности одежды почти не изменяется.

При фиксированной скорости движения внешней среды 5 м/с и температуре 2°С с рост ее относительной влажности от 20 до 65% приводит к увеличению средних теплотерь с поверхности манекена в одежде на 58,4%, уменьшению суммарного теплового сопротивления одежды на 36,9%, увеличению средней температуры на наружной поверхности одежды в 1,43 раза. Коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности одежды почти не изменяется.

При фиксированной относительной влажности внешней среды 20% и температуре 2°С увеличение скорости ее движения от 0 до 2,17 м/с приводит к повышению средних теплотерь с поверхности манекена в одежде (к снижению теплозащитных свойств одежды) 1,41 раза, уменьшению суммарного теплового сопротивления на 28,8%, снижению средней температуры на наружной поверхности одежды в 1,59 раза и уменьшению теплоотдачи от наружной поверхности одежды в 2,37 раза. При фиксированной относительной влажности внешней среды 65% и температуре 2°С указанные выше величины соответственно составляют: 1,52 раза, 34,1%, 1,48 раза и 2,36 раза.

При фиксированной относительной влажности внешней среды 20% и температуре 2°C увеличение скорости ее движения от 0 до 5,0 м/с приводит к повышению средних теплотерь с поверхности манекена в одежде 1,69 раза, уменьшению суммарного теплового сопротивления на 40,8%, снижению средней температуры на наружной поверхности одежды в 2,17 раза и уменьшению теплоотдачи от наружной поверхности одежды в 4,41 раза.

При фиксированной относительной влажности внешней среды 65% и температуре 2°C указанные выше величины соответственно составляют: 2,77 раза, 49,5%, 1,98 раза и 4,4 раза.

Анализ табличных данных 4.3. показывает, что при фиксированной скорости движения внешней среды 0 м/с и температуре -4°C повышение ее относительной влажности от 20 до 65% приводит к увеличению средних теплотерь с поверхности манекена в одежде на 35,7%, уменьшению суммарного теплового сопротивления одежды на 26,3%, повышению средней температуры на наружной поверхности одежды в 1,47 раза, что, по видимому, связано с выделением скрытой теплоты парообразования в следствие увлажнения пакета материалов. Коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности одежды почти не изменяется.

При фиксированной скорости движения внешней среды 2,17 м/с и температуре -4°C с увеличением ее относительной влажности от 10 до 65% средние теплотери с поверхности манекена повышаются на 50,5%, суммарное тепловое сопротивление одежды понижается на 33,5%, температура на наружной поверхности одежды возрастает в 1,87 раза, коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности одежды почти не изменяется.

При фиксированной скорости движения внешней среды 5 м/с и температуре -4°C с рост ее относительной влажности от 20 до 65% приводит к увеличению средних теплотерь с поверхности манекена в одежде на 58,4%, уменьшению суммарного теплового сопротивления одежды на 36,9%, увеличению средней температуры на наружной поверхности одежды в 2,5 раза. Коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности одежды почти не изменяется.

При фиксированной относительной влажности внешней среды 20% и температуре -4°C увеличение скорости ее движения от 0 до 2,17 м/с приводит к повышению средних теплотерь с поверхности манекена в одежде (к снижению теплозащитных свойств одежды) 1,33 раза, уменьшению суммарного теплового сопротивления на 25,3%, снижению средней температуры на наружной поверхности одежды в 2,2 раза и уменьшению теплоотдачи от наружной поверхности одежды в 2,27 раза.

При фиксированной относительной влажности внешней среды 32% и температуре -4°C указанные выше величины соответственно составляют: 1,48 раза, 32,6%, 1,73 раза и 2,26 раза.

При фиксированной относительной влажности внешней среды 20% и температуре -4°C увеличение скорости ее движения от 0 до 5,0 м/с приводит к повышению средних теплотерь с поверхности манекена в одежде в 1,65 раза, уменьшению суммарного теплового сопротивления на 39,4%, снижению средней температуры на наружной поверхности одежды в 5,04 раза и уменьшению теплоотдачи от наружной поверхности одежды в 4,15 раза.

При фиксированной относительной влажности внешней среды 65% и температуре -4°C указанные выше величины соответственно составляют: 2,61 раза, 48,1%, 2,97 раза и 4,2 раза.

Таким образом, при фиксированных значениях скоростей движения внешней среды 0, 2,17 и 5,0 м/с и ее температурах 10, 2 и -4°C , для переходного периода года и -4 , -10 и -15°C для холодного периода года с увеличением относительной влажности среды от 20 до 65% наблюдается увеличение теплотерь q с поверхности манекена в теплозащитной одежде и снижение теплозащитных свойств одежды ($R_{\text{сум}}$) как переходного, так и холодного периодов года, связанные с насыщением пакета материалов влагой, поглощаемой из внешней среды и делающей его более теплопроводным.

При фиксированных значениях относительной влажности внешней среды 20, 32 и 65% и ее температурах 10, 2 и -4°C , для переходного периода года и -4 , -10 и -15°C

для холодного периода года с увеличением скорости движения среды от 0 до 5,0 м/с происходит возрастание теплотерь q с поверхности манекена в теплозащитной одежде как переходного, так и холодного периодов года и снижение теплозащитных свойств одежды ($R_{сум}$), связанное с прониканием воздушной среды под одежду и разрушением слоя воздуха, прилегающего к одежде.

Сравнение теплозащитных свойств одежды ($R_{сум}$) переходного и холодного периодов года, полученные по двум методом, показывают хорошее согласование результатов. Полученные данные по теплозащитным свойствам одежды хорошо согласуются также с экспериментальными данными других авторов [1, 20, 38, 102-103]

На рис. 4.1 - 4.3 представлена гистограммы теплоотдачи от наружной поверхности теплозащитной верхней одежды для переходного периода года при различных сочетаниях факторов внешней среды.

Как показывают данные таблиц 4.1-4.3. и рис. 4.1-4.3 понижение температуры внешней среды от 10°C до -4°C при фиксированных значениях ее скорости движения и относительной влажности почти не приводит к увеличению коэффициента теплоотдачи от наружной поверхности теплозащитной одежды для переходного периода года.

Данные по теплоотдаче конвекцией, полученные в диссертационной работе, хорошо согласуются с данными других авторов [2-3, 5]. Результаты проведенных исследований для верхней теплозащитной одежды холодного периода года при температурах внешней среды -4,-10 и -15°C приведены в таблицах 4.4.-4.6.

Анализ табличных данных 4.4. показывает, что при фиксированной скорости движения внешней среды 0 м/с и температуре -4°C повышение ее относительной влажности от 20 до 65% приводит к увеличению средних теплотерь с поверхности манекена в одежде на 31,7%, уменьшению суммарного теплового сопротивления одежды на 24,1%, повышению средней температуры на наружной поверхности одежды в 1,54 раза, что, по видимому, связано с выделением скрытой теплоты парообразования в средстве увлажнения пакета материалов. Коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности одежды почти не изменяется.

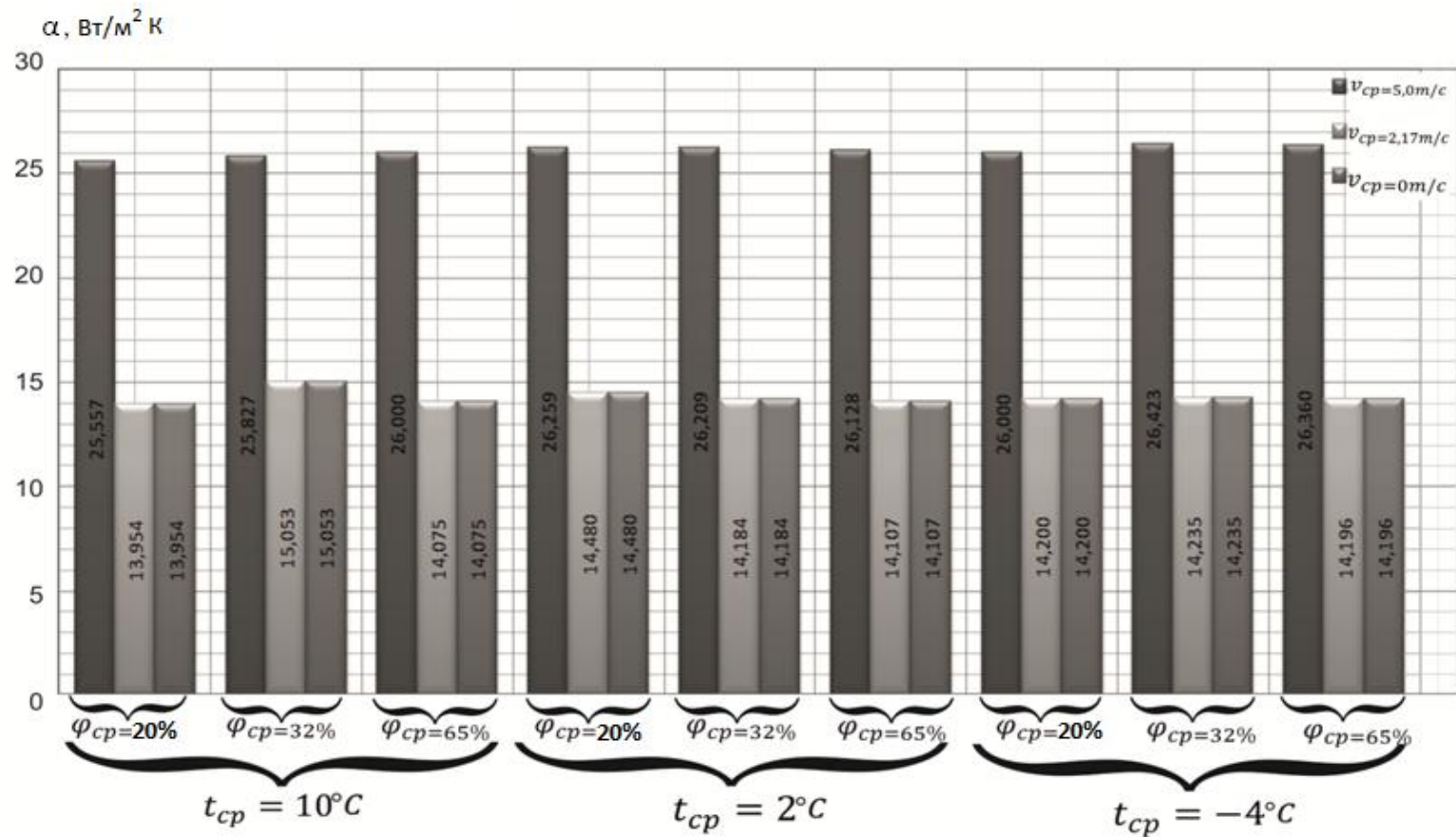


Рис. 4.1. Гистограмма теплоотдачи от наружной поверхности теплозащитной верхней одежды для переходного периода года при различных сочетаниях относительной влажности и скорости движения внешней среды и ее температурах 10, 2 и -4°C

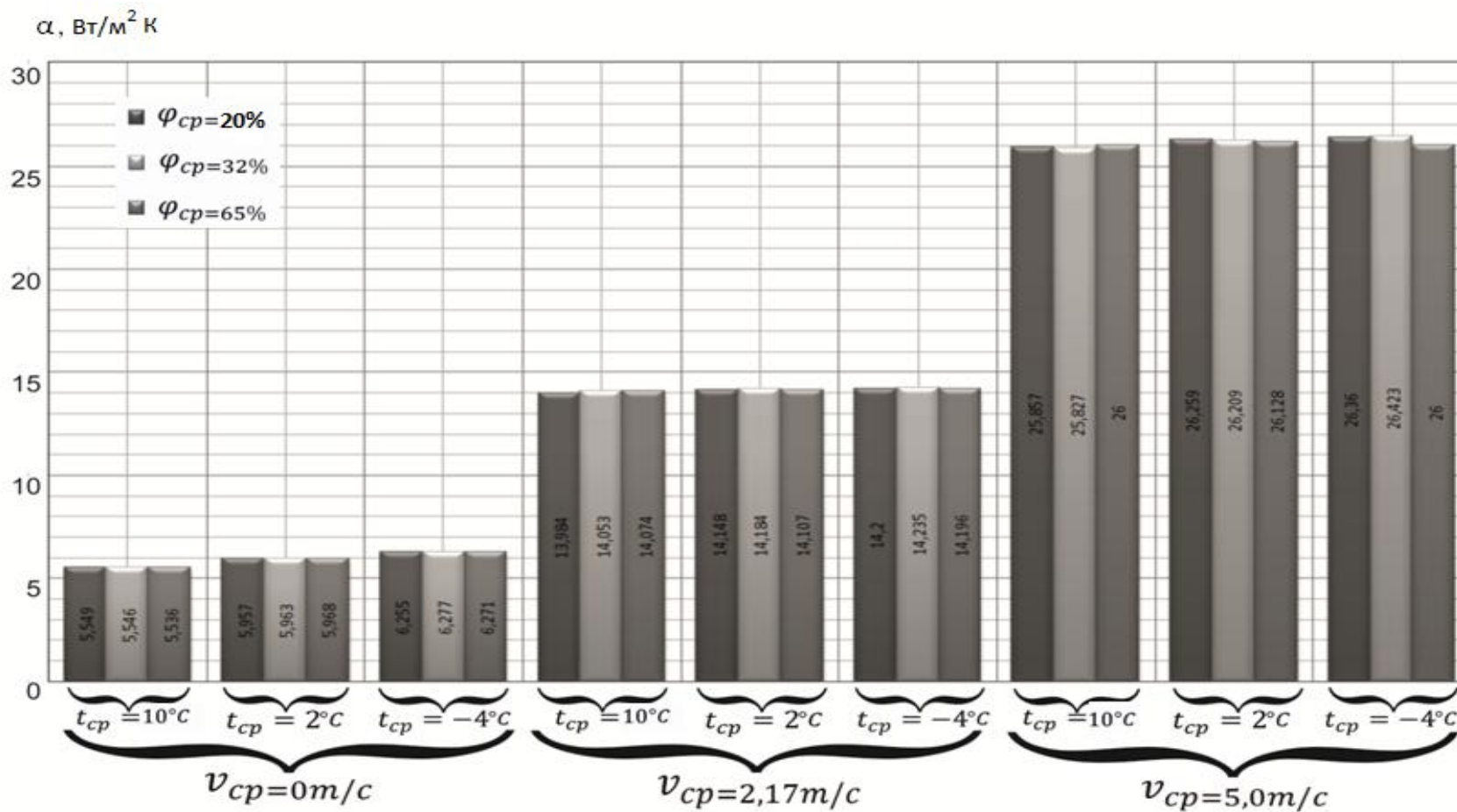


Рис. 4.2. Гистограмма теплоотдачи от наружной поверхности теплозащитной верхней одежды для переходного периода года при различных сочетаниях относительной влажности и температуры внешней среды и ее скоростях движения 0, 2,17 и 5 м/с.

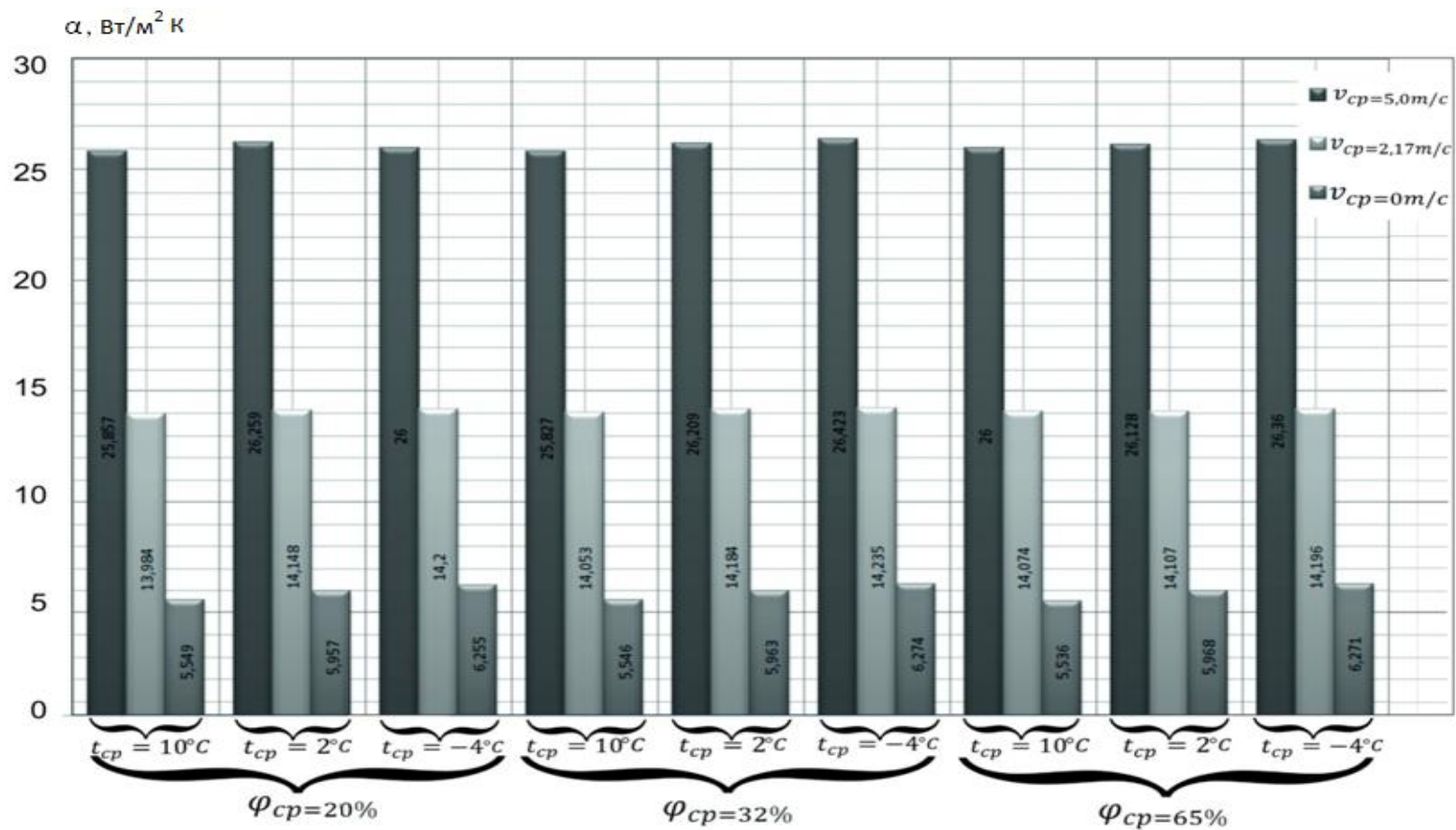


Рис. 4.3. Гистограмма теплоотдачи от наружной поверхности теплозащитной верхней одежды для переходного периода года при различных сочетаниях температуры и скорости движения внешней среды и ее относительных влажностях 10, 32 и 65%

Таблица 4.4.

Плотность теплового потока, суммарное тепловое сопротивление, коэффициент теплопередачи, коэффициент теплоотдачи с наружной поверхности одежды при температуре внешней среды -4°C

Скорость движения внешней среды $v_{\text{ср}}$, м/с	Относительная влажность внешней среды φ , %	Экспериментальные данные		Расчетные данные			Суммарное тепловое сопротивление одежды $R_{\text{сум}}$, $(\text{м}^2 \cdot \text{К})/\text{Вт}$
		Средние теплотери с поверхности манекена в одежде q , $\text{Вт}/\text{м}^2$	Средняя температура на наружной поверхности одежды $t_{\text{п}}$, $^{\circ}\text{C}$	Суммарное тепловое сопротивление одежды $R_{\text{сум}}$, $(\text{м}^2 \cdot \text{К})/\text{Вт}$	Коэффициент теплопередачи k , $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$	Коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности одежды α , $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$	
0	20	58,7	5,4	0,692	1,445	6,245	0,686
	32	66,6	6,6	0,610	1,639	6,283	0,603
	65	77,3	8,3	0,525	1,905	6,285	0,520
2,17	20	70,1	1,0	0,579	1,727	14,020	0,574
	32	81,2	1,7	0,500	2,000	14,246	0,495
	65	96,9	2,8	0,419	2,387	14,250	0,415
5	20	78,4	-0,8	0,518	1,931	24,500	0,513
	32	91,6	-0,3	0,443	2,257	24,757	0,440
	65	110,3	0,4	0,368	2,717	25,068	0,363

Таблица 4.5.

Плотность теплового потока, суммарное тепловое сопротивление, коэффициент теплопередачи, коэффициент теплоотдачи с наружной поверхности одежды при температуре внешней среды -10°C

Скорость движения внешней среды $v_{\text{ср}}$, м/с	Относительная влажность внешней среды φ , %	Экспериментальные данные		Расчетные данные			Суммарное тепловое сопротивление одежды $R_{\text{сум}}$, $(\text{м}^2 \cdot \text{К})/\text{Вт}$
		Средние теплотери с поверхности манекена в одежде q , $\text{Вт}/\text{м}^2$	Средняя температура на наружной поверхности одежды $t_{\text{п}}$, $^{\circ}\text{C}$	Суммарное тепловое сопротивление одежды $R_{\text{сум}}$, $(\text{м}^2 \cdot \text{К})/\text{Вт}$	Коэффициент теплопередачи k , $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$	Коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности одежды α , $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$	
0	20	67,9	0,4	0,686	1,458	6,529	0,680
	32	77,2	1,8	0,604	1,656	6,542	0,598
	65	89,8	3,8	0,519	1,927	6,507	0,512
2,17	20	80,6	-4,3	0,578	1,730	14,140	0,573
	32	93,2	-3,4	0,500	2,000	14,121	0,496
	65	111,2	-2,2	0,419	2,387	14,256	0,415
5	20	90,0	-6,4	0,518	1,931	25,000	0,512
	32	105,9	-5,8	0,444	2,252	25,000	0,438
	65	126,6	-4,9	0,368	2,717	24,824	0,364

Таблица 4.6.

Плотность теплового потока, суммарное тепловое сопротивление, коэффициент теплопередачи, коэффициент теплоотдачи с наружной поверхности одежды при температуре внешней среды -15°C

Скорость движения внешней среды $v_{\text{ср}}$, м/с	Относительная влажность внешней среды φ , %	Экспериментальные данные		Расчетные данные			Суммарное тепловое сопротивление одежды $R_{\text{сум}}$, $(\text{м}^2 \cdot \text{К})/\text{Вт}$
		Средние теплотери с поверхности манекена в одежде q , $\text{Вт}/\text{м}^2$	Средняя температура на наружной поверхности одежды $t_{\text{п}}$, $^{\circ}\text{C}$	Суммарное тепловое сопротивление одежды $R_{\text{сум}}$, $(\text{м}^2 \cdot \text{К})/\text{Вт}$	Коэффициент теплопередачи k , $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$	Коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности одежды α , $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$	
0	20	75,7	-3,7	0,682	1,466	6,699	0,675
	32	86,1	-2,2	0,599	1,669	6,727	0,594
	65	100,2	-0,1	0,515	1,942	6,725	0,507
2,17	20	89,3	-8,7	0,578	1,730	14,175	0,573
	32	103,2	-7,7	0,500	2,000	14,137	0,494
	65	123,2	-6,3	0,419	2,387	14,161	0,414
5	20	99,6	-11,0	0,518	1,931	24,900	0,511
	32	116,2	-10,3	0,444	2,252	24,723	0,440
	65	140,2	-9,4	0,368	2,717	25,037	0,363

При фиксированной скорости движения внешней среды 2,17 м/с и температуре -4°C с увеличением ее относительной влажности от 20 до 65% средние теплотери с поверхности манекена повышаются на 38,2%, суммарное тепловое сопротивление одежды понижается на 27,6%, температура на наружной поверхности одежды возрастает в 2,8 раза, коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности одежды почти не изменяется.

При фиксированной скорости движения внешней среды 5 м/с и температуре -4°C с рост ее относительной влажности от 20 до 65% приводит к увеличению средних теплотерь с поверхности манекена в одежде на 40,7%, уменьшению суммарного теплового сопротивления одежды на 28,9%, уменьшению средней температуры на наружной поверхности одежды в 2 раза. Коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности одежды почти не изменяется.

При фиксированной относительной влажности внешней среды 20% и температуре -4°C увеличение скорости ее движения от 0 до 2,17 м/с приводит к повышению средних теплотерь с поверхности манекена в одежде (к снижению теплозащитных свойств одежды) 1,19 раза, уменьшению суммарного теплового сопротивления на 16,3%, снижению средней температуры на наружной поверхности одежды в 5,4 раза и уменьшению теплоотдачи от наружной поверхности одежды в 2,24 раза.

При фиксированной относительной влажности внешней среды 65% и температуре -4°C указанные выше величины соответственно составляют: 1,25 раза, 20,2%, 2,96 раза, 2,27 раза. При фиксированной относительной влажности внешней среды 20% и температуре -4°C увеличение скорости ее движения от 0 до 5,0 м/с приводит к повышению средних теплотерь с поверхности манекена в одежде 1,33 раза, уменьшению суммарного теплового сопротивления на 25,1%, снижению средней температуры на наружной поверхности одежды в 6,75 раза и уменьшению теплоотдачи от наружной поверхности одежды в 3,92 раза. При фиксированной относительной влажности внешней среды 65% и температуре -4°C указанные выше величины соответственно составляют: 1,88 раза, 29,9%, 20,75 раза и 4,0 раза.

Анализ табличных данных 4.5. показывает, что при фиксированной скорости движения внешней среды 0 м/с и температуре -10°C повышение ее относительной влажности от 20 до 65% приводит к увеличению средних теплотерь с поверхности манекена в одежде на 32,2%, уменьшению суммарного теплового сопротивления одежды на 24,3%, повышению средней температуры на наружной поверхности одежды в 9,5 раза, что, по видимому, связано с выделением скрытой теплоты парообразования вследствие увлажнения пакета материалов. Коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности одежды почти не изменяется.

При фиксированной скорости движения внешней среды 2,17 м/с и температуре -10°C с увеличением ее относительной влажности от 20 до 65% средние теплотери с поверхности манекена повышаются на 37,9%, суммарное тепловое сопротивление одежды понижается на 27,5%, температура на наружной поверхности одежды снижается в 1,95 раза, коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности одежды почти не изменяется.

При фиксированной скорости движения внешней среды 5 м/с и температуре -10°C с рост ее относительной влажности от 20 до 65% приводит к увеличению средних теплотерь с поверхности манекена в одежде на 40,7%, уменьшению суммарного теплового сопротивления одежды на 28,9%, уменьшению средней температуры на наружной поверхности одежды в 1,31 раза. Коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности одежды почти не изменяется.

При фиксированной относительной влажности внешней среды 20% и температуре -10°C увеличение скорости ее движения от 0 до 2,17 м/с приводит к повышению средних теплотерь с поверхности манекена в одежде (к снижению теплозащитных свойств одежды) 1,19 раза, уменьшению суммарного теплового сопротивления на 15,7%, повышению средней температуры на наружной поверхности одежды в 10,75 раза и уменьшению теплоотдачи от наружной поверхности одежды в 2,17 раза.

При фиксированной относительной влажности внешней среды 65% и температуре -10°C указанные выше величины соответственно составляют: 1,24 раза, 19,3%, 1,73 раза 2,19 раза. При фиксированной относительной влажности внешней среды 20% и температуре -10°C увеличение скорости ее движения от 0 до 5,0 м/с приводит к повышению средних теплотерь с поверхности манекена в одежде в 1,32 раза, уменьшению суммарного теплового сопротивления на 24,5%, повышению средней температуры на наружной поверхности одежды в 16 раз и уменьшению теплоотдачи от наружной поверхности одежды в 3,83 раза.

При фиксированной относительной влажности внешней среды 65% и температуре -10°C указанные выше величины соответственно составляют: 1,86 раза, 29,1%, 1,68 раза и 3,8 раза.

Анализ табличных данных 4.6. показывает, что при фиксированной скорости движения внешней среды 0 м/с и температуре -15°C повышение ее относительной влажности от 20 до 65% приводит к увеличению средних теплотерь с поверхности манекена в одежде на 32,4%, уменьшению суммарного теплового сопротивления одежды на 24,5%, снижению средней температуры на наружной поверхности одежды на 37 раз, что, по видимому, связано с выделением скрытой теплоты парообразования вследствие увлажнения пакета материалов. Коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности одежды почти не изменяется.

При фиксированной скорости движения внешней среды 2,17 м/с и температуре -15°C с увеличением ее относительной влажности от 20 до 65% средние теплотери с поверхности манекена повышаются на 37,9%, суммарное тепловое сопротивление одежды понижается на 27,5%, температура на наружной поверхности одежды снижается на 1,38 раза, коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности одежды почти не изменяется.

При фиксированной скорости движения внешней среды 5 м/с и температуре -15°C с рост ее относительной влажности от 20 до 65% приводит к увеличению средних теплотерь с поверхности манекена в одежде на 40,8%, уменьшению

суммарного теплового сопротивления одежды на 28,9%, уменьшению средней температуры на наружной поверхности одежды на 1,17 раза. Коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности одежды почти не изменяется.

При фиксированной относительной влажности внешней среды 20% и температуре -15°C увеличение скорости ее движения от 0 до 2,17 м/с приводит к повышению средних теплотерь с поверхности манекена в одежде (к снижению теплозащитных свойств одежды) 1,18 раза, уменьшению суммарного теплового сопротивления на 15,2%, повышению средней температуры на наружной поверхности одежды на 2,35 раза и уменьшению теплоотдачи от наружной поверхности одежды в 2,12 раза.

При фиксированной относительной влажности внешней среды 65% и температуре -15°C указанные выше величины соответственно составляют: 1,23 раза, 18,6%, 63 раза 2,11 раза.

При фиксированной относительной влажности внешней среды 20% и температуре -15°C увеличение скорости ее движения от 0 до 5,0 м/с приводит к повышению средних теплотерь с поверхности манекена в одежде 1,31 раза, уменьшению суммарного теплового сопротивления на 24,0%, повышению средней температуры на наружной поверхности одежды на 2,97 раза и уменьшению теплоотдачи от наружной поверхности одежды в 3,72 раза.

При фиксированной относительной влажности внешней среды 65% и температуре -15°C указанные выше величины соответственно составляют: 1,85 раза, 28,5%, 94 раза и 3,7 раза.

На рис. 4.4 - 4.6 представлена гистограммы теплоотдачи от наружной поверхности теплозащитной верхней одежды для холодного периода года при различных сочетаниях факторов внешней среды.

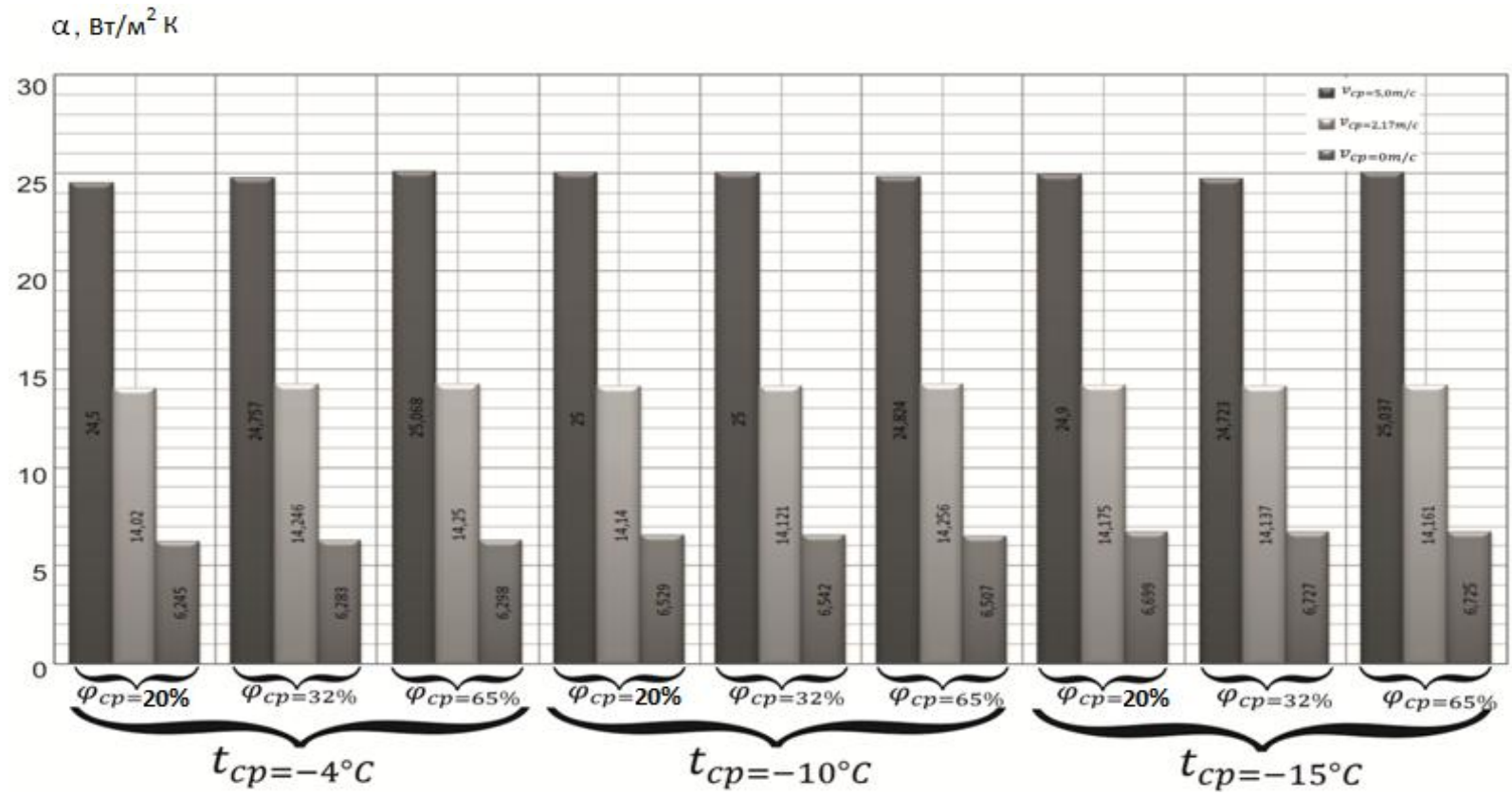


Рис. 4.4 Гистограмма теплоотдачи от наружной поверхности теплозащитной верхней одежды для холодного периода года при различных сочетаниях относительной влажности и скорости движения внешней среды и ее температурах -4, -10 и -15°C

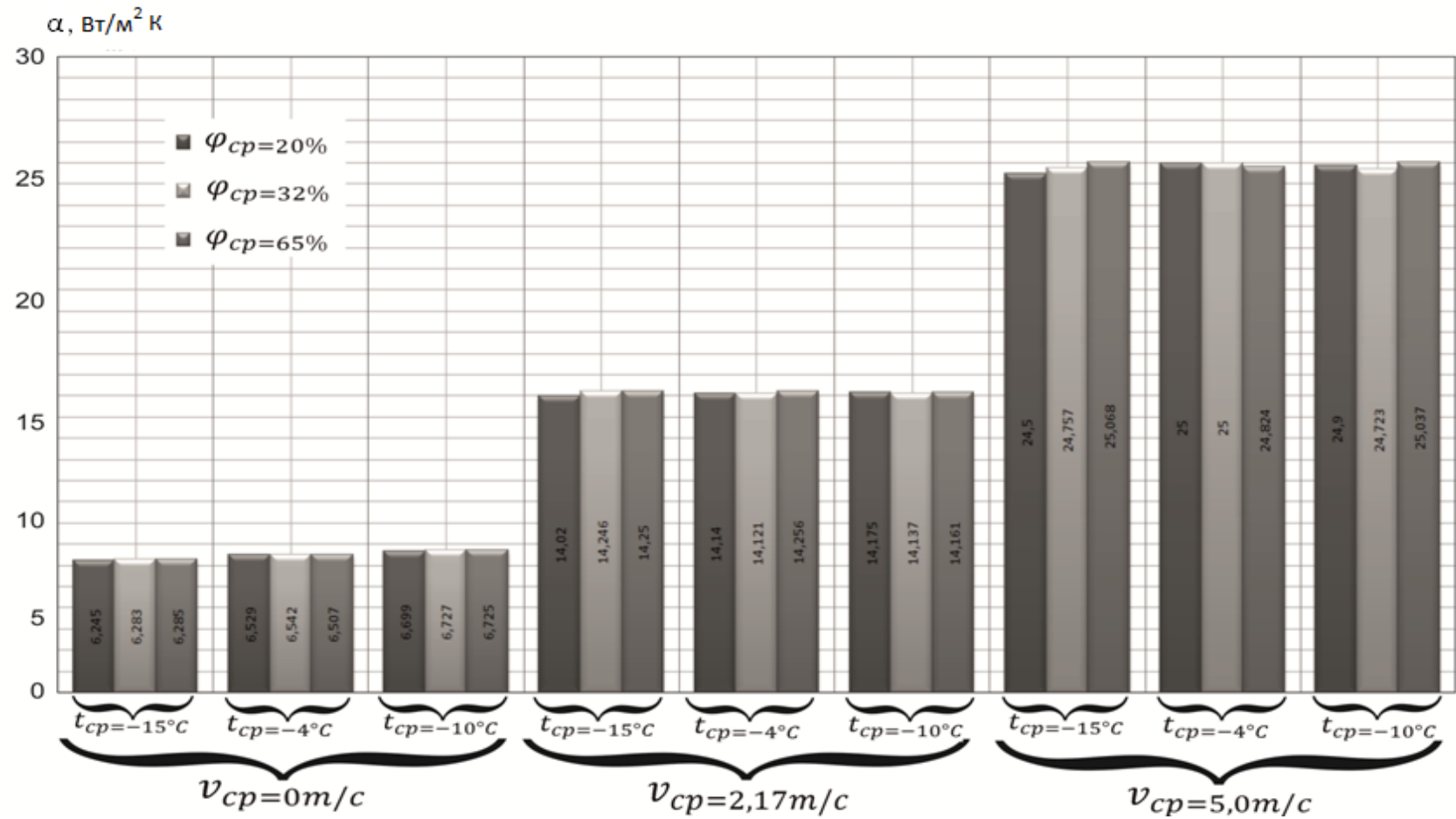


Рис. 4.5. Гистограмма теплоотдачи от наружной поверхности теплозащитной верхней одежды для холодного периода года при различных сочетаниях относительной влажности и температуры внешней среды и ее скоростях движения 0, 2,17 и 5 м/с.

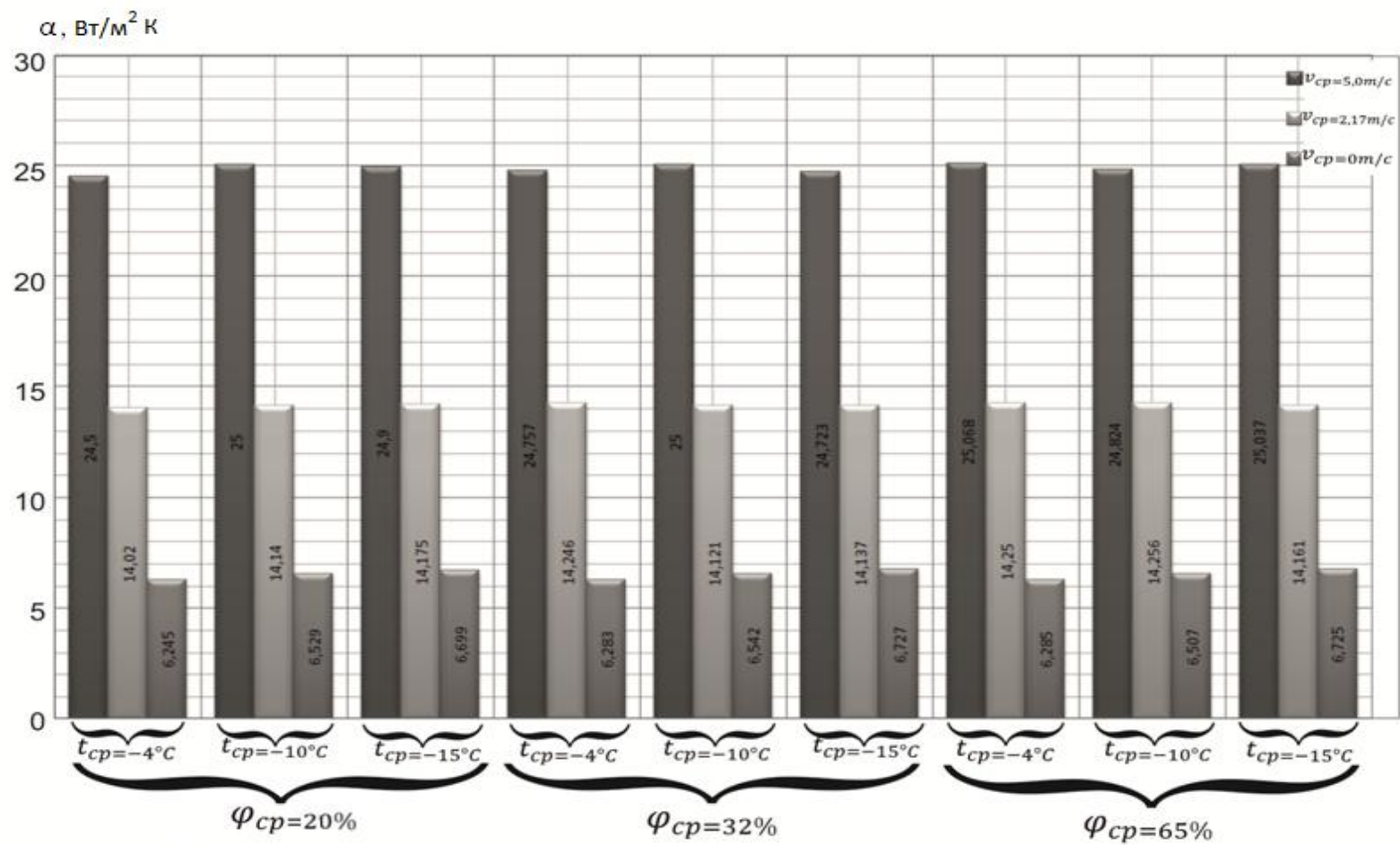


Рис. 4.6. Гистограмма теплоотдачи от наружной поверхности теплозащитной верхней одежды для холодного периода года при различных сочетаниях температуры и скорости движения внешней среды и ее относительных влажностях 20, 32 и 65%

4.2. Экспериментальное исследование теплозащитных свойств одежды при различных положениях манекена относительно внешней среды и сочетаниях ее факторов

На разработанной установке исследованы теплозащитные свойства одежды для переходного и холодного периода года при различных положениях манекена относительно набегающей внешней среды и различных скоростях ее движения температурах и влажностях. С этой целью манекен с одеждой устанавливался и фиксировался на диске экспериментальной установки.

Положение манекена с одеждой относительно внешней воздушной среды определяется углом, образуемым между фронтальной плоскостью манекена и направлением набегающей внешней воздушной среды.

Установка положений манекена производится путем поворота диска установки на углы 45° , 90° , 135° , 180° , 225° , 270° , 315° и 360° относительно фронтальной плоскости манекена и фиксации в этих положениях.

На рис. 4.7. приведена схема положений фронтальной плоскости манекена относительно направлению внешней воздушной среды.

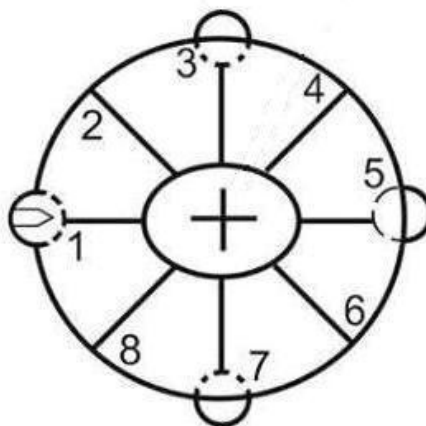


Рис. 4.7. Положения манекена относительно внешней воздушной среды

Ниже в таблицах 4.7-4.9 приведены значения суммарного теплового сопротивления одежды переходного периода года в зависимости от положения манекена с одеждой относительно внешней воздушной среды.

Таблица 4.7.

Плотность теплового потока, суммарное тепловое сопротивление, коэффициент теплопередачи, коэффициент теплоотдачи с наружной поверхности одежды при температуре внешней среды 10°C

Скорость движения внешней среды, v_{cp} , м/с	Относительная влажность внешней среды, φ , %	Угол расположения манекена, Ψ , °	Экспериментальные данные			Расчетные данные	
			Средние теплототери с поверхности манекена в одежде q , Вт/м ²	Средняя температура на наружной поверхности одежды $t_{н}$, °С	Суммарное тепловое сопротивление одежды, $R_{сум}$, м ² ·К/Вт	Коэффициент теплопередачи k , Вт/(м ² ·К)	Коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности одежды, k , Вт/(м ² ·К)
0	20	90	62,7	21,3	0,424	2,358	5,543
		45	54,1	23,4	0,492	2,033	4,037
		0	41,8	26,4	0,636	1,572	2,549
	32	90	72,1	23,0	0,369	2,710	5,546
		45	61,0	25,1	0,439	2,294	4,040
		0	45,9	27,9	0,580	1,724	2,564
	65	90	83,6	25,1	0,318	3,145	5,536
		45	69,1	27,1	0,385	2,597	4,041
		0	50,3	29,7	0,529	1,890	2,553
2,17	20	90	88,1	16,3	0,302	3,311	13,984
		45	80,9	17,9	0,329	3,040	10,241
		0	68,9	20,7	0,386	2,591	6,439
	32	90	106,8	17,6	0,249	4,016	14,053
		45	96,4	19,4	0,276	3,623	10,255
		0	79,9	22,4	0,333	3,003	6,444
	65	90	132,3	19,4	0,201	4,975	14,074
		45	116,7	22,9	0,228	4,386	10,256
		0	93,3	24,5	0,285	3,509	6,434
5	20	90	108,6	14,2	0,245	4,082	25,857
		45	103,1	15,4	0,258	3,876	19,092
		0	92,0	17,7	0,289	3,460	11,948
	32	90	134,3	15,2	0,198	5,051	25,827
		45	126,1	16,6	0,211	4,739	19,106
		0	109,9	19,2	0,242	4,132	11,946
	65	90	171,6	16,6	0,155	6,452	26,001
		45	158,3	18,3	0,168	5,952	19,072
		0	133,7	21,2	0,199	5,025	11,938

Таблица 4.8.

Плотность теплового потока, суммарное тепловое сопротивление, коэффициент теплопередачи, коэффициент теплоотдачи с наружной поверхности одежды при температуре внешней среды 2°С

Скорость движения внешней среды, $v_{ср}$, м/с	Относительная влажность внешней среды, ϕ , %	Угол расположения манекена, Ψ , °	Экспериментальные данные			Расчетные данные	
			Средние теплототери с поверхности манекена в одежде q , Вт/м ²	Средняя температура на наружной поверхности одежды $t_{п}$, °С	Суммарное тепловое сопротивление одежды, $R_{сум}$, м ² ·К/Вт	Коэффициент теплопередачи k , Вт/(м ² ·К)	Коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности одежды, k , Вт/(м ² ·К)
0	20	90	84,0	16,1	0,412	2,427	5,957
		45	73,1	18,8	0,473	2,114	4,351
		0	56,9	22,7	0,608	1,645	2,749
	32	90	97,2	18,3	0,356	2,809	5,963
		45	82,7	21,0	0,418	2,392	4,353
		0	62,7	24,8	0,552	1,812	2,750
	65	90	113,4	21,0	0,305	3,279	5,968
		45	94,3	23,7	0,367	2,725	4,346
		0	69,1	27,1	0,501	1,996	2,753
2,17	20	90	114,6	10,1	0,302	3,311	14,148
		45	105,2	12,2	0,329	3,040	10,314
		0	89,9	15,8	0,385	2,597	6,514
	32	90	139,0	11,8	0,249	4,016	14,184
		45	125,4	14,2	0,276	3,623	10,279
		0	104,2	18,0	0,332	3,012	6,513
	65	90	172,1	14,2	0,201	4,975	14,107
		45	151,8	16,7	0,228	4,386	10,327
		0	121,8	20,8	0,284	3,521	6,479
5	20	90	141,8	7,4	0,244	4,098	26,259
		45	134,1	9,0	0,258	3,876	19,157
		0	121,8	12,1	0,284	3,521	12,059
	32	90	175,6	8,7	0,197	5,076	26,209
		45	164,0	10,6	0,211	4,739	19,070
		0	142,4	13,8	0,243	4,115	12,068
	65	90	224,7	10,6	0,154	6,494	26,128
		45	206,0	12,8	0,168	5,952	19,074
		0	173,9	16,4	0,199	5,025	12,076

Таблица 4.9.

Плотность теплового потока, суммарное тепловое сопротивление, коэффициент теплопередачи, коэффициент теплоотдачи с наружной поверхности одежды при температуре внешней среды -4°C

Скорость движения внешней среды, $v_{\text{ср}}$, м/с	Относительная влажность внешней среды, φ , %	Угол расположения манекена, Ψ , $^{\circ}$	Экспериментальные данные			Расчетные данные	
			Средние теплототери с поверхности манекена в одежде q , Вт/м ²	Средняя температура на наружной поверхности одежды $t_{\text{п}}$, $^{\circ}\text{C}$	Суммарное тепловое сопротивление одежды, $R_{\text{сум}}$, м ² ·К/Вт	Коэффициент теплопередачи k , Вт/(м ² ·К)	Коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности одежды, k , Вт/(м ² ·К)
0	20	90	100,7	12,1	0,403	2,481	6,255
		45	87,7	15,2	0,463	2,160	4,568
		0	68,8	19,8	0,590	1,695	2,891
	32	90	116,7	14,6	0,348	2,874	6,274
		45	99,8	17,8	0,407	2,457	4,578
		0	75,9	22,3	0,535	1,869	2,886
	65	90	136,7	17,8	0,297	3,367	6,271
		45	114,0	20,9	0,356	2,809	4,578
		0	83,9	25,1	0,484	2,066	2,883
2,17	20	90	134,9	5,5	0,301	3,322	14,200
		45	123,8	7,9	0,328	3,049	10,403
		0	105,7	12,2	0,384	2,604	6,525
	32	90	163,7	7,5	0,248	4,032	14,235
		45	147,6	10,2	0,275	3,636	10,394
		0	122,7	14,8	0,331	3,021	6,527
	65	90	203,0	10,3	0,200	5,000	14,196
		45	178,9	13,2	0,227	4,405	10,401
		0	143,5	17,9	0,283	3,534	6,543
5	20	90	166,4	2,4	0,244	4,098	26,00
		45	157,4	4,2	0,258	3,876	19,195
		0	141,0	7,6	0,288	3,472	12,155
	32	90	206,1	3,8	0,197	5,076	26,423
		45	192,4	6,0	0,211	4,739	19,240
		0	168,5	9,9	0,241	4,149	12,122
	65	90	263,6	6,0	0,154	6,494	26,360
		45	241,7	8,6	0,168	5,952	19,183
		0	205,1	12,9	0,198	5,051	12,136

На рис. 4.8. приведена пространственная гистограмма суммарного теплового сопротивления одежды переходного периода года в зависимости от положений манекена в одежде относительно внешней среды и различных скоростях ее движения, температурах и влажностях.

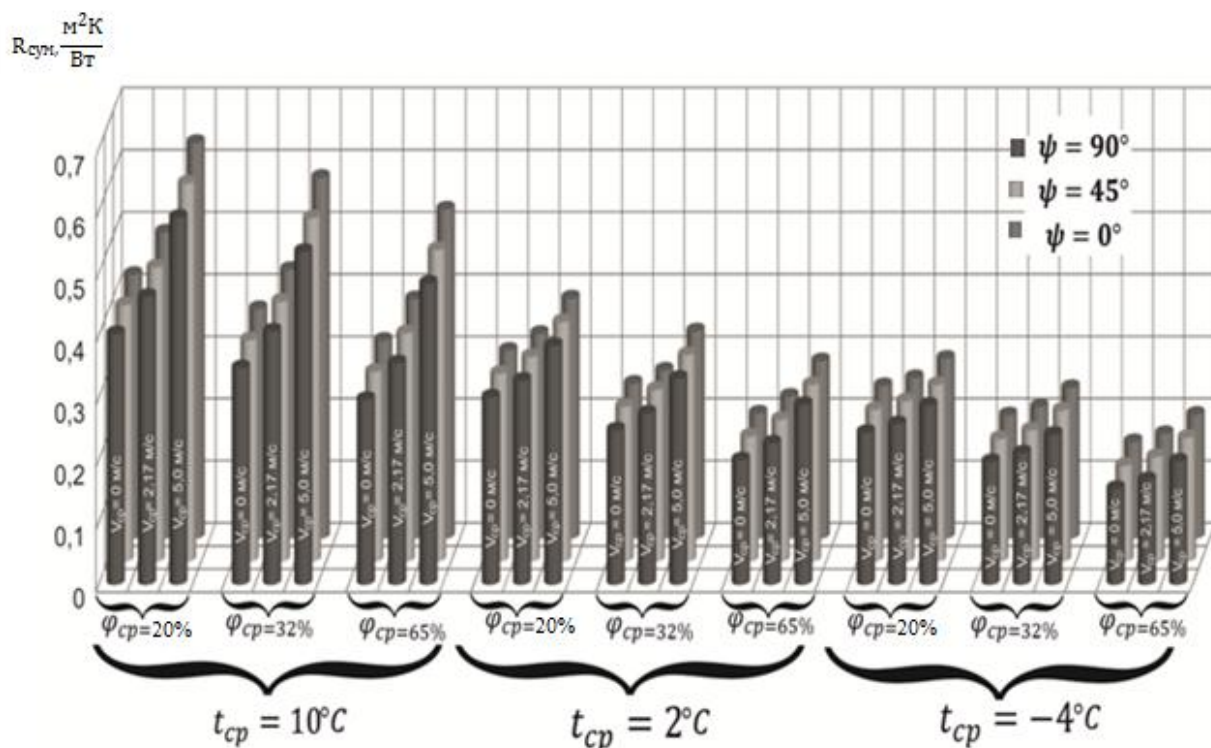


Рис. 4.8. Гистограмма зависимости суммарного теплового сопротивления одежды переходного периода года от положений манекена относительно внешней среды при различных сочетаниях факторов внешней среды

Ниже в таблицах 4.10-4.12 приведены значения суммарного теплового сопротивления одежды холодного периода года в зависимости от положения манекена с одеждой относительно внешней воздушной среды.

Таблица 4.10.

Плотность теплового потока, суммарное тепловое сопротивление, коэффициент теплопередачи, коэффициент теплоотдачи с наружной поверхности одежды при температуре внешней среды -4°C

Скорость движения внешней среды, $v_{\text{ср}}$, м/с	Относительная влажность внешней среды ϕ , %	Угол расположения манекена, Ψ , °	Экспериментальные данные			Расчетные данные	
			Средние теплототери с поверхности манекена $Q_{\text{ср}}$, Вт/м ²	Средняя температура на наружной поверхности одежды $t_{\text{н}}$, °C	Суммарное тепловое сопротивление одежды, $R_{\text{сум}}$, м ² ·К/Вт	Коэффициент теплопередачи k , Вт/(м ² ·К)	Коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности одежды, k , Вт/(м ² ·К)
0	20	90	58,7	5,4	0,692	1,445	6,245
		45	54,0	7,8	0,752	1,330	4,576
		0	46,2	12,0	0,879	1,138	2,888
	32	90	66,6	6,6	0,610	1,639	6,283
		45	60,7	9,3	0,669	1,495	4,564
		0	50,9	13,6	0,798	1,253	2,892
	65	90	77,3	8,3	0,525	1,905	6,285
		45	69,4	11,2	0,585	1,709	4,566
		0	57,0	15,8	0,712	1,404	2,879
2,17	20	90	70,1	1,0	0,579	1,727	14,02
		45	67,1	2,5	0,605	1,653	10,323
		0	61,3	5,4	0,662	1,511	6,521
	32	90	81,2	1,7	0,500	2,000	14,246
		45	77,2	3,5	0,526	1,901	10,293
		0	69,6	6,7	0,583	1,715	6,505
	65	90	96,9	2,8	0,419	2,387	14,250
		45	91,0	4,8	0,446	2,242	10,341
		0	80,9	8,4	0,502	1,992	6,524
5	20	90	78,4	-0,8	0,518	1,931	24,500
		45	76,3	0,2	0,532	1,880	18,167
		0	71,9	2,7	0,565	1,770	10,731
	32	90	91,6	-0,3	0,443	2,257	24,757
		45	88,6	0,9	0,458	2,183	18,082
		0	82,7	3,7	0,491	2,037	10,740
	65	90	110,3	0,4	0,368	2,717	25,068
		45	106,0	1,8	0,383	2,611	18,276
		0	97,8	5,1	0,415	2,410	10,747

Таблица 4.11.

Плотность теплового потока, суммарное тепловое сопротивление, коэффициент теплопередачи, коэффициент теплоотдачи с наружной поверхности одежды при температуре внешней среды -10°C

Скорость движения внешней среды, $v_{\text{ср}}$, м/с	Относительная влажность внешней среды, φ , %	Угол расположения манекена, Ψ , $^{\circ}$	Экспериментальные данные			Расчетные данные	
			Средние теплопотери с поверхности манекена в одежде q , Вт/м ²	Средняя температура на наружной поверхности одежды $t_{\text{п}}$, $^{\circ}\text{C}$	Суммарное тепловое сопротивление одежды, $R_{\text{сум}}$, м ² ·К/Вт	Коэффициент теплопередачи k , Вт/(м ² ·К)	Коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности одежды, k , Вт/(м ² ·К)
0	20	90	67,9	0,4	0,686	1,458	6,529
		45	62,6	3,2	0,744	1,344	4,742
		0	53,8	7,9	0,866	1,155	3,006
	32	90	77,2	1,8	0,604	1,656	6,542
		45	70,5	4,9	0,661	1,513	4,732
		0	59,5	9,8	0,783	1,277	3,005
	65	90	89,8	3,8	0,519	1,927	6,507
		45	80,8	7,0	0,577	1,733	4,753
		0	66,7	12,2	0,699	1,431	3,005
2,17	20	90	80,6	-4,3	0,578	1,730	14,140
		45	77,2	-2,5	0,604	1,656	10,293
		0	70,4	0,8	0,662	1,511	6,519
	32	90	93,2	-3,4	0,500	2,000	14,121
		45	88,8	-1,4	0,525	1,905	10,326
		0	79,9	2,2	0,583	1,715	6,549
	65	90	111,2	-2,2	0,419	2,387	14,256
		45	104,7	0,1	0,445	2,247	10,366
		0	92,8	4,2	0,502	1,992	6,535
5	20	90	90,0	-6,4	0,518	1,931	25,000
		45	87,6	-5,2	0,532	1,880	18,250
		0	82,5	-2,8	0,565	1,770	11,458
	32	90	105,0	-5,8	0,444	2,252	25,000
		45	101,7	-4,4	0,458	2,183	18,161
		0	94,9	-1,7	0,491	2,037	11,434
	65	90	126,6	-4,9	0,368	2,717	24,824
		45	121,7	-3,3	0,383	2,611	18,164
		0	112,3	-0,2	0,415	2,410	11,459

Таблица 4.12.

Плотность теплового потока, суммарное тепловое сопротивление, коэффициент теплопередачи, коэффициент теплоотдачи с наружной поверхности одежды при температуре внешней среды -15°C

Скорость движения внешней среды, $v_{\text{ср}}$, м/с	Относительная влажность внешней среды, φ , %	Угол расположения манекена, ψ , $^{\circ}$	Экспериментальные данные			Расчетные данные	
			Средние теплототери с поверхности манекена в одежде q , Вт/м ²	Средняя температура на наружной поверхности одежды $t_{\text{п}}$, $^{\circ}\text{C}$	Суммарное тепловое сопротивление одежды, $R_{\text{сум}}$, м ² ·К/Вт	Коэффициент теплопередачи k , Вт/(м ² ·К)	Коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности одежды, k , Вт/(м ² ·К)
0	20	90	75,7	-3,7	0,682	1,466	6,699
		45	70,1	-0,7	0,736	1,359	4,902
		0	57,0	6,3	0,905	1,105	2,676
	32	90	86,1	-2,2	0,599	1,669	6,727
		45	78,9	1,1	0,654	1,529	4,509
		0	62,8	8,4	0,824	1,214	2,675
	65	90	100,2	-0,1	0,515	1,942	6,725
		45	90,7	3,5	0,570	1,754	4,903
		0	69,8	11,1	0,739	1,353	2,674
2,17	20	90	89,3	-8,7	0,578	1,730	14,175
		45	85,4	-6,7	0,604	1,656	10,289
		0	78,1	-3,1	0,661	1,513	6,455
	32	90	103,2	-7,7	0,500	2,000	14,137
		45	98,3	-5,5	0,525	1,905	10,347
		0	88,7	-1,4	0,582	1,718	6,522
	65	90	123,2	-6,3	0,419	2,387	14,161
		45	116,0	-3,8	0,445	2,247	10,357
		0	103,0	0,7	0,501	1,996	6,561
5	20	90	99,6	-11,0	0,518	1,931	24,900
		45	97,0	-9,7	0,532	1,880	18,302
		0	91,5	-7,0	0,564	1,773	11,438
	32	90	116,2	-10,3	0,444	2,252	24,723
		45	112,7	-8,8	0,458	2,183	18,177
		0	105,3	-5,8	0,490	2,041	11,446
	65	90	140,2	-9,4	0,368	2,717	25,037
		45	134,7	-7,6	0,383	2,611	18,209
		0	124,3	-4,2	0,415	2,410	11,509

На рис. 4.9. приведена пространственная гистограмма суммарного теплового сопротивления одежды холодного периода года в зависимости от положений манекена в одежде относительно набегающей внешней среды и различных скоростях ее движения, температурах и влажностях.

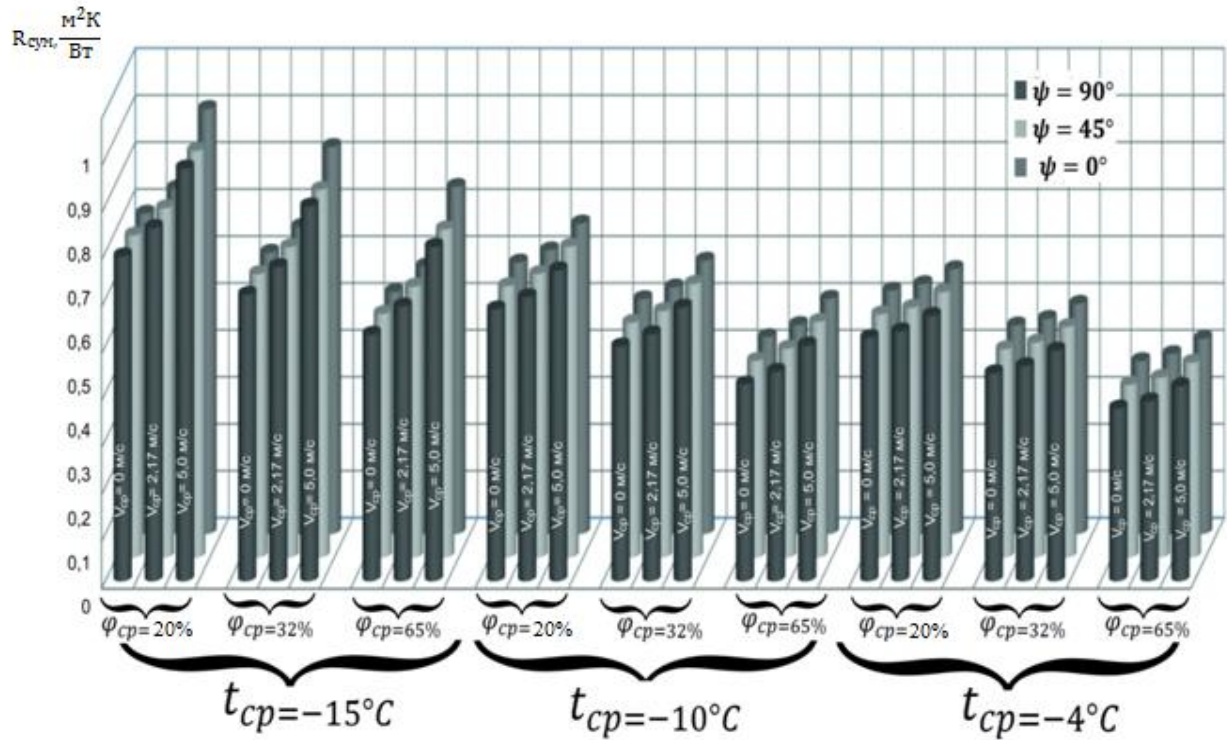


Рис.

4.9. Гистограмма зависимости суммарного теплового сопротивления одежды холодного периода года в от положений манекена относительно внешней среды при различных сочетаниях факторов внешней среды

Анализ табличных данных и гистограмм показывает, что изменение положения манекена в одежде относительно внешней среды показывает значительное влияние на теплозащитные свойства одежды как переходного, так и холодного периода года. С изменением угла расположения манекена ψ от 0 до 90° суммарное тепловое сопротивление одежды уменьшается, а коэффициент теплоотдачи от ее наружной

поверхности и теплопотери человека увеличиваются при всех исследованных сочетаниях факторов внешней среды, что связано с увеличением площади теплообмена.

ВЫВОДЫ

1. Результаты проведенных исследований показывают, что теплозащитные свойства одежды определенные по двум методом: регулярного теплового режима и измерения теплового потока достаточно хорошо согласуются как друг с другом, так и с экспериментальными данными других авторов.

2. Расположения манекена в одежде относительно внешней среды оказывает значительное влияние на теплозащитные свойства одежды как переходного, так и холодного периодов года.

3. С изменением угла между фронтальной плоскостью манекена и направлением движения внешней среды ψ от 0 до 90 град. происходит уменьшение суммарного теплового сопротивления одежды и увеличение теплопотерь человека и коэффициента теплоотдачи от ее наружной поверхности одежды по прямолинейной зависимости при всех сочетаниях основных факторов внешней среды, что связано с увеличением площади теплообмена.

4. Разработанная экспериментальная установка позволяет быстро и с достаточной точностью проводить оценку теплозащитных свойств верхней одежды различных конструкций с учетом влияния факторов внешней среды. Установка позволяет также производить оценку теплозащитных свойств верхней одежды одетой на человека, т.е. учитывать при оценке механизм терморегуляции организма человека.

ГЛАВА 5. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ ТЕПЛОЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ ОДЕЖДЫ С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ ФАКТОРОВ ВНЕШНЕЙ СРЕДЫ

5.1. Оценка теплозащитных функции одежды под воздействием параметров внешней среды

Математическое моделирование находит все большее распространение в различных областях текстильной и легкой промышленности. Такие математические модели, используя средства математического анализа, приближенных вычислений, теории вероятностей и математической статистики, а также современные методы программирования, позволяют найти связь между параметрами процесса и провести их оптимизацию [104 -108].

Одежда служит человеку для создания и поддержания вокруг тела микроклимата, обеспечивающего комфортные условия для жизнедеятельности организма. В то же время одежда является надежным и эффективным средством защиты от неблагоприятных воздействий внешней среды, чем способствует сохранению работоспособности и здоровья человека в различных условиях эксплуатации одежды.

Известно, что на величину теплопотерь с поверхности тела человека в одежде в холодный период года большое влияние оказывают влажность и скорость движения внешней среды [37- 38].

В диссертационной работе разработан метод расчета теплопотерь с поверхности тела человека в одежде с учетом влияния влажности, температуры и скорости движения внешней среды.

Теплопотери с поверхности тела человека через пакет одежды оцениваются величиной плотности теплового потока [72, 94, 99].

В случае отсутствия движения внешней среды (воздействия ветра)(рис. 5.1):

$$q = k(t_{f_1} - t_{f_2}) = \frac{(t_{f_1} - t_{f_2})}{R_{\text{сум}}} \left[\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2} \right],$$

а в случае его наличия (рис. 5.2):

$$q^* = k^*(t_w - t_{f_2}) = \frac{(t_w - t_{f_2})}{R_{\text{сум}}^*} \left[\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2} \right],$$

где k и k^* - коэффициенты теплопередачи соответственно при отсутствии и наличии воздействия ветра, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$; $R_{\text{сум}}$ и $R_{\text{сум}}^*$ - тепловые сопротивления теплопередаче пакета одежды соответственно при отсутствии и наличии воздействия ветра, $(\text{м}^2 \cdot \text{К})/\text{Вт}$; t_{f1} - температура пододежной среды, $^{\circ}\text{C}$; t_w - температура поверхности одежды, контактирующей с телом человека, $^{\circ}\text{C}$; t_{f2} - температура внешней среды, $^{\circ}\text{C}$. Под воздействием движения внешней среды мягкий пакет одежды сжимается, прижимая его к телу человека. Обозначим толщины отдельных слоев пакета в случае отсутствия движения внешней среды $\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_n$, а в случае его наличия - $\delta_1^*, \delta_2^*, \dots, \delta_n^*$ а коэффициенты теплопроводности этих слоев через $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$. Заменяем многослойные пакеты одежды, изображенные на рис. 5.1 и 5.2, однослойными пакетами с толщинами $\delta = \sum_{i=1}^n \delta_i$ и $\delta^* = \sum_{i=1}^n \delta_i^*$ и эквивалентными коэффициентами λ_3 и λ_3^* , определяемыми по формулам [2, 5, 7]:

$$\lambda_3 = \delta \cdot \left(\sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} \right)^{-1} \quad \lambda_3^* = \delta^* \cdot \left(\sum_{i=1}^n \frac{\delta_i^*}{\lambda_i} \right)^{-1}$$

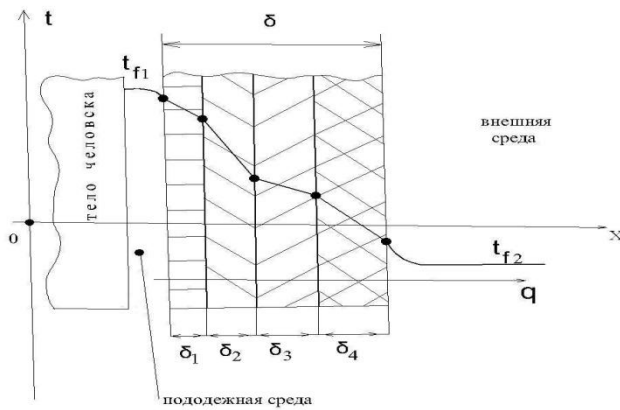


Рис. 5.1 Схема передачи тепла через зимний пакет теплозащитной одежды при отсутствии движения внешней среды.

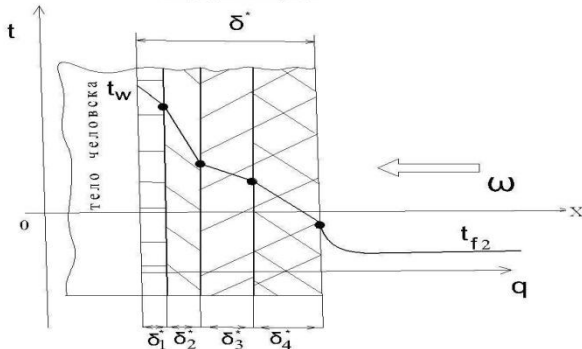


Рис. 5.2 Схема передачи тепла через зимний пакет теплозащитной одежды при наличии движения внешней среды.

Согласно экспериментальным данным [2, 38], коэффициент теплопроводности большинства текстильных материалов можно принять равным 0,0495. Поэтому получим: $\lambda_3 = \lambda_3^*$. Тепловые сопротивления теплопередачи определяются по формулам [76, 99-100]:

$$R_{\text{сум}} = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda_3} + \frac{1}{\alpha_2} \quad R_{\text{сум}}^* = \frac{\delta^*}{\lambda_3} + \frac{1}{\alpha_2}$$

где α_1 – коэффициент теплоотдачи от пододежной среды к внутренней поверхности пакета одежды Вт/(м²·К) ; α_2 - коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности одежды к внешней среде, Вт/(м²·К) ; который определяется по формуле [2-3, 50]

$$\alpha_2 = 7 + 3,14 v_{\text{cp}}$$

где v_{cp} - скорость движения внешней среды (скорость ветра), м/с.

Сила давления внешней воздушной среды на одежду составит:

$$P = \rho \cdot \frac{v_{\text{cp}}^2}{2} \cdot S \quad [\text{H}] \quad (5.1)$$

где ρ - плотность внешней среды (воздуха), кг/м³; ; S - площадь поверхности одежды, подвергнутая воздействию внешней среды, м².

В пределах упругого воздействия внешней среды (ветровой нагрузки) на пакет зимней теплозащитной одежды применим закон Гука [109 -113]:

$$P = k_y \cdot \Delta\delta \quad [\text{H}] \quad (5.2)$$

где $\Delta\delta = (\delta - \delta^*)$ - изменение толщины пакета одежды под воздействием внешней среды, k_y – коэффициент условной жесткости пакета одежды:

$$k_y = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{k_{y_i}}} \quad \left[\frac{\text{H}}{\text{M}} \right]$$

Приравнивая выражения (5.1) и (5.2), для определения толщины пакета одежды после деформирования ветром получим:

$$\delta^* = \frac{k_y \cdot \delta - 0,5 \rho v_{\text{cp}}^2 \cdot S}{k_y} \quad [\text{M}]$$

Влияние относительной влажности внешней среды φ на абсолютную влажность материала ω было определено методом обработки экспериментальных данных. Для пакета одежды переходного периода года была получена зависимость следующего вида:

$$\omega\% = (0,140 + 0,145 \cdot \varphi\%) \cdot (100 - t_{cp})^{0,25} \quad (5.3)$$

Для пакета одежды холодного периода года была получена зависимость следующего вида.

$$\omega\% = (0,144 + 0,139 \cdot \varphi\%) \cdot (100 - t_{cp})^{0,25}$$

Влияние влажности внешней среды на эквивалентный коэффициент теплопроводности пакета одежды определим по формуле Кауффмана [2, 5, 38], где относительная влажность пакета определяется по формуле (5.3).

$$\lambda_s = \lambda_0 \left(1 + \mu \cdot \frac{\omega}{100} \right)$$

где μ – коэффициент, характеризующий прирост влажности пакета одежды, ω – абсолютная влажность пакета, %; λ_0 – коэффициент теплопроводности сухого пакета одежды, Вт/(м·К).

Для теплового сопротивления теплопередачи пакета одежды переходного периода года после деформирования ветром (воздушной средой) получено следующее уравнение:

$$R_{сум}^* = \frac{k_y \cdot \delta - 0,5 \rho v_{cp}^2 \cdot S}{k_y \cdot \lambda_0 \left(1 + \mu \cdot \frac{(0,140 + 0,145 \cdot \varphi) \cdot (100 - t_{cp})^{0,25}}{100} \right)} + \frac{1}{\alpha_2} \left[\frac{M^2 \cdot K}{B\Gamma} \right] \quad (5.4)$$

Теплопотери с поверхности тела человека в одежде переходного периода года с учетом влияния влажности, скорости движения и температуры внешней среды будут равны:

$$q^* = (t_w - t_{f2}) \cdot \left(\frac{k_y \cdot \delta - 0,5 \rho v_{cp}^2 \cdot S}{k_y \cdot \lambda_0 \left(1 + \mu \cdot \frac{(0,140 + 0,145 \cdot \varphi\%) \cdot (100 - t_{cp})^{0,25}}{100} \right)} + \frac{1}{\alpha_2} \right)^{-1} \left[\frac{B\Gamma}{M^2} \right]$$

Для теплового сопротивления теплопередачи пакета одежды холодного периода года после деформирования ветром (воздушной средой) получено следующее уравнение:

$$R_{\text{сум}}^* = \frac{k_y \cdot \delta - 0,5\rho v_{\text{cp}}^2 \cdot S}{k_y \cdot \lambda_0 \left(1 + \mu \cdot \frac{(0,144 + 0,139 \cdot \varphi\%) \cdot (100 - t_{\text{cp}})^{0,25}}{100} \right)} + \frac{1}{\alpha_2} \left[\frac{\text{М}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}} \right]$$

Теплопотери с поверхности тела человека в одежде холодного периода года с учетом влияния влажности, скорости движения и температуры внешней среды будут равны:

$$q^* = (t_w - t_{f2}) \cdot \left(\frac{k_y \cdot \delta - 0,5\rho v_{\text{cp}}^2 \cdot S}{k_y \cdot \lambda_0 \left(1 + \mu \cdot \frac{(0,144 + 0,139 \cdot \varphi\%) \cdot (100 - t_{\text{cp}})^{0,25}}{100} \right)} + \frac{1}{\alpha_2} \right)^{-1} \left[\frac{\text{Вт}}{\text{М}^2} \right]$$

Если воздействие внешней среды на пакет зимней теплозащитной одежды не подчиняется закону Гука, то обычно применяется степенная зависимость между относительным сжатием пакета одежды ε и силой давления внешней среды [30-31, 71]:

$$\varepsilon = A \cdot P^n \quad \text{или} \quad \frac{\Delta\delta}{\delta} = A \cdot P^n,$$

где A – коэффициент сжимаемости пакета материалов, n - показатель степени.

В этом случае с учетом выражения (5.1) будем иметь:

$$\frac{\Delta\delta}{\delta} = A \left(\rho \cdot \frac{v_{\text{cp}}^2}{2} \cdot S \right)^n$$

Учитывая, что $\Delta\delta = (\delta - \delta^*)$, для толщины пакета одежды после воздействия внешней среды, получим:

$$\delta^* = \delta - A \cdot \delta \left(\rho \cdot \frac{v_{\text{cp}}^2}{2} \cdot S \right)^n \quad [\text{М}]$$

Для теплового сопротивления теплопередаче пакета одежды переходного периода года после воздействия на него факторов внешней среды будем иметь:

$$R_{\text{сум}}^* = \frac{\delta - A \cdot \delta(0,5\rho v_{\text{cp}}^2 \cdot S)^n}{\lambda_0 \left(1 + \mu \cdot \frac{(0,140 + 0,145 \cdot \varphi\%) \cdot (100 - t_{\text{cp}})^{0,25}}{100} \right)} + \frac{1}{\alpha_2} \left[\frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}} \right] \quad (5.5)$$

Теплопотери с поверхности тела человека в одежде переходного периода года с учетом влияния влажности, скорости движения и температуры внешней среды составят:

$$q^* = (t_w - t_{\text{cp}}) \cdot \left(\frac{\delta - A \cdot \delta(0,5\rho v_{\text{cp}}^2 \cdot S)^n}{\lambda_0 \left(1 + \mu \cdot \frac{(0,140 + 0,145 \cdot \varphi\%) \cdot (100 - t_{\text{cp}})^{0,25}}{100} \right)} + \frac{1}{\alpha_2} \left[\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2} \right] \right)^{-1}$$

Для теплового сопротивления теплопередаче пакета одежды холодного периода года после воздействия на него факторов внешней среды будем иметь:

$$R_{\text{сум}}^* = \frac{\delta - A \cdot \delta(0,5\rho v_{\text{cp}}^2 \cdot S)^n}{\lambda_0 \left(1 + \mu \cdot \frac{(0,144 + 0,139 \cdot \varphi\%) \cdot (100 - t_{\text{cp}})^{0,25}}{100} \right)} + \frac{1}{\alpha_2} \left[\frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}} \right]$$

Теплопотери с поверхности тела человека в одежде холодного периода года с учетом влияния влажности, скорости движения и температуры внешней среды составят:

$$q^* = (t_w - t_{\text{cp}}) \cdot \left(\frac{\delta - A \cdot \delta(0,5\rho v_{\text{cp}}^2 \cdot S)^n}{\lambda_0 \left(1 + \mu \cdot \frac{(0,144 + 0,139 \cdot \varphi\%) \cdot (100 - t_{\text{cp}})^{0,25}}{100} \right)} + \frac{1}{\alpha_2} \left[\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2} \right] \right)^{-1}$$

Разработанный метод позволяет оценивать теплозащитные свойства одежды на основе расчета теплового сопротивления теплопередачи по формулам (5.4) и (5.5), учитывающим скорость движения, температуру и влажность внешней среды.

5.2. Результаты оценки теплозащитных свойств одежды с учетом параметров внешней среды по разработанной модели

Для оценки теплозащитных свойств одежды под воздействием параметров внешней среды и проверки адекватности полученной математической модели экспериментальным данным проведены расчеты суммарного теплового

сопротивления, коэффициента теплопередачи и плотности теплового потока для теплозащитной одежды переходного и холодного периодов года.

Расчет теплозащитных свойств одежды переходного периода года по разработанной математической модели проведен при следующих исходных данных: $\mu = 3,5$; $A = 0,02$; $\delta = 14,8 \cdot 10^{-3}$ м; $t_w = 36,6^\circ\text{C}$; $t_{cp} = 10, 2$ и -4°C ; $\rho = 1,293$ кг/м³; $\varphi = 20, 32$ и 65% ; $S = 0,385$ м²; $v_{cp} = 0, 2,17$ и $5,0$ м/с; $\lambda_0 = 0,0495$ Вт/(м·К); $n = 0,7$; $\alpha_2 = 7 + 3,14v_{cp}$.

Результаты расчета теплозащитных свойств одежды переходного периода года при температурах 10°C , 2°C и -4°C с учетом влияние параметров внешней среды приведены в таблице 5.1.

Расчет теплозащитных свойств одежды холодного периода года по разработанной математической модели проведен при следующих исходных данных:

$\mu = 2$; $A = 0,018$; $\delta = 30,2 \cdot 10^{-3}$ м; $t_w = 36,6^\circ\text{C}$; $t_{cp} = -4, -10$ и -15°C ; $\rho = 1,293$ кг/м³; $\varphi = 20, 32$ и 65% ; $S = 0,385$ м²; $v_{cp} = 0, 2,17$ и $5,0$ м/с; $\lambda_0 = 0,0495$ Вт/(м·К); $n = 0,65$; $\alpha_2 = 7 + 3,14v_{cp}$.

Результаты расчета теплозащитных свойств одежды холодного периода года при температурах -4°C , -10°C и -15°C , и с учетом влияние параметров внешней среды приведены в таблице 5.2.

Анализ результатов расчета теплозащитных свойств одежды показывает, что, данные полученные по разработанной математической модели хорошо согласуются с нашими экспериментальными данными и данными других авторов [2, 5, 20] в диапазоне изменения относительной влажности внешней среды от $\varphi = 20$ до 65% ($\omega = 10$ до 30%) и скорости ее движения от $v_{cp} = 0$ до 5 м/с.

Таблица 5.1.

Результаты оценки теплозащитных функции одежды для переходного периода года

$v_{cp} = 0 \text{ м/с}, \omega = 10\% (\varphi = 20\%)$					$v_{cp} = 0 \text{ м/с}, \omega = 15\% (\varphi = 32\%)$					$v_{cp} = 0 \text{ м/с}, \omega = 30\% (\varphi = 65\%)$				
Суммарное тепловое сопротивление $R_{сум}$, ($\text{м}^2 \cdot \text{К}$)/Вт	Коэффициент теплопередачи K , Вт/($\text{м}^2 \cdot \text{К}$)	Тепловые потери q , Вт/м ²			Суммарное тепловое сопротивление $R_{сум}$, ($\text{м}^2 \cdot \text{К}$)/Вт	Коэффициент теплопередачи K , Вт/($\text{м}^2 \cdot \text{К}$)	Тепловые потери q , Вт/м ²			Суммарное тепловое сопротивление $R_{сум}$, ($\text{м}^2 \cdot \text{К}$)/Вт	Коэффициент теплопередачи K , Вт/($\text{м}^2 \cdot \text{К}$)	Тепловые потери q , Вт/м ²		
		10° С	2°С	-4°С			10°С	2°С	-4°С			10°С	2°С	-4°С
0,397	2,519	67,003	87,154	102,267	0,339	2,949	78,466	102,065	119,794	0,289	3,460	92,042	119,723	140,484
$v_{cp} = 2,17 \text{ м/с}, \omega = 10\% (\varphi = 20\%)$					$v_{cp} = 2,17 \text{ м/с}, \omega = 15\% (\varphi = 32\%)$					$v_{cp} = 2,17 \text{ м/с}, \omega = 30\% (\varphi = 65\%)$				
0,308	3,247	86,364	112,338	132,468	0,254	3,937	104,724	136,220	159,842	0,208	4,808	127,885	166,346	196,154
$v_{cp} = 5,0 \text{ м/с}, \omega = 10\% (\varphi = 20\%)$					$v_{cp} = 5,0 \text{ м/с}, \omega = 15\% (\varphi = 32\%)$					$v_{cp} = 5,0 \text{ м/с}, \omega = 30\% (\varphi = 65\%)$				
0,239	4,184	111,297	146,025	169,874	0,195	5,128	136,410	177,436	208,205	0,156	6,410	170,513	221,795	260,256

Таблица 5.2.

Результаты оценки теплозащитных функции одежды для холодного периода года

$v_{cp} = 0 \text{ м/с}, \omega = 10\% (\varphi = 20\%)$					$v_{cp} = 0 \text{ м/с}, \omega = 15\% (\varphi = 32\%)$					$v_{cp} = 0 \text{ м/с}, \omega = 30\% (\varphi = 65\%)$				
Суммарное тепловое сопротивление $R_{сум}$, ($\text{м}^2 \cdot \text{К}$)/Вт	Коэффициент теплопередачи k , Вт/($\text{м}^2 \cdot \text{К}$)	Тепловые потери q , Вт/ м^2			Суммарное тепловое сопротивление $R_{сум}$, ($\text{м}^2 \cdot \text{К}$)/Вт	Коэффициент теплопередачи k , Вт/($\text{м}^2 \cdot \text{К}$)	Тепловые потери q , Вт/ м^2			Суммарное тепловое сопротивление $R_{сум}$, ($\text{м}^2 \cdot \text{К}$)/Вт	Коэффициент теплопередачи k , Вт/($\text{м}^2 \cdot \text{К}$)	Тепловые потери q , Вт/ м^2		
		-4°C	-10°C	-15°C			-4°C	-10°C	-15°C			-4°C	-10°C	-15°C
0,651	1,536	62,366	71,582	79,262	0,612	1,634	66,339	76,144	84,314	0,524	1,908	77,465	88,913	98,453
$v_{cp} = 2,17 \text{ м/с}, \omega = 10\% (\varphi = 20\%)$					$v_{cp} = 2,17 \text{ м/с}, \omega = 15\% (\varphi = 32\%)$					$v_{cp} = 2,17 \text{ м/с}, \omega = 30\% (\varphi = 65\%)$				
0,571	1,751	71,103	81,611	90,368	0,503	1,988	80,716	92,644	102,584	0,423	2,364	95,981	110,165	121,986
$v_{cp} = 5,0 \text{ м/с}, \omega = 10\% (\varphi = 20\%)$					$v_{cp} = 5,0 \text{ м/с}, \omega = 15\% (\varphi = 32\%)$					$v_{cp} = 5,0 \text{ м/с}, \omega = 30\% (\varphi = 65\%)$				
0,522	1,916	77,777	89,272	98,851	0,400	2,500	101,500	116,500	129,000	0,334	2,994	121,557	139,521	154,491

ВЫВОДЫ

1. Разработана математическая модель оценки теплозащитных свойств одежды с учетом влияния температуры, влажности и скорости движения внешней среды, позволяющая определять суммарное тепловое сопротивление пакета материалов верхней одежды переходного и холодного периодов года и плотность теплового потока, учитывающая сжимаемость пакетов.

2. Анализ результатов расчета теплозащитных свойств одежды показывает, что, данные полученные по разработанной математической модели хорошо согласуются с экспериментальными настоящей диссертационной работы и данными П.А. Колесникова и Р.Ф. Афанасьевой в диапазоне изменения относительной влажности внешней среды от $\varphi = 20$ до 65% ($\omega = 10$ до 30%), скорости ее движения от 0 до 5 м/с и температуры внешней среды для переходного периода года 10°C, 2°C и -4°C и для холодного периода года -4°C, -10°C и -15°C.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Методом априорного ранжирования доказано, что при оценке теплозащитных свойств одежды необходимо учитывать совместное влияние температуры, влажности, скорости движения внешней среды и положения тела человека относительно внешней среды.

2. Разработанная компактная установка позволяет проводить быструю оценку теплозащитных свойств одежды с учетом одновременного влияния основных факторов внешней среды, а использование двух разных методов при оценке дает возможность контролировать достоверность получаемых результатов.

3. Разработанный измеритель теплового потока позволяет проводить регистрацию местных теплотерь с поверхности тела человека при различных сочетаниях основных факторов внешней среды.

4. Доказано, что имитация тела человека с помощью полого манекена с водой обеспечивает достаточную точность оценки теплозащитных свойств одежды с учетом факторов внешней среды и позволяет избежать проведения натуральных экспериментов на человеке.

5. Выявлено, что одновременное увеличение скорости движения внешней среды от 0 до 5,0 м/с, ее относительной влажности от 20 до 65% приводит к снижению суммарного теплового сопротивления пакета материалов одежды переходного периода года примерно в 2,0 раза при изменении температуры внешней среды от 10 до -4°C и для одежды холодного периода года примерно в 1,4 раза при изменении температуры внешней среды от -4 до -15°C по сравнению с тепловым сопротивлением при отсутствии движения внешней среды и ее относительной влажности 65%.

6. Установлено, что снижение температуры внешней среды от $+10$ до -15°C приводит к увеличению теплотерь с поверхности манекена в одежде при всех

исследованных сочетаниях скорости движения и влажности внешней среды примерно по логарифмической зависимости.

7. С изменением угла между фронтальной плоскостью манекена и направлением движения внешней среды от 0 до 90 град. происходит уменьшение суммарного теплового сопротивления одежды и увеличение теплотеря человека и коэффициента теплоотдачи от наружной поверхности одежды по прямолинейной зависимости при всех сочетаниях основных факторов внешней среды, что связано с увеличением площади теплообмена.

8. Разработана математическая модель, позволяющая прогнозировать теплозащитные свойства одежды с учетом основных факторов внешней среды, что можно использовать на стадии проектирования и создания одежды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Афанасьева, Р. Ф.** Гигиенические основы проектирования одежды от холода.- М.: Легкая индустрия, 1977. - 136 с
2. **Делль Р.А., Афанасьева Р.Ф., Чубарова З.С.** Гигиена одежды. -М.: Легпромбытиздат, 1991. - 160 с.
3. **Скляnnиков В. П.** Строение и качество тканей. -М.: Легкая и пищевая промышленность, 1984. -176 с.
4. **Ruth E. Glock, Grace I. Kunz** Apparel manufacturing: sewn product analysis. – Merrill, 1995.- 626р.
5. **Скляnnиков В.П., Афанасьева Р.Ф., Машкова Е.Н.** Гигиеническая оценка материалов для одежды. - М.: Легпромбытиздат, 1985. - 144с.
6. **Афанасьева Р.Ф., Окунева С.Г.** О дифференциальной оценке теплового состояния человека и теплозащитных свойств одежды // Гигиена и санитария.- 1975. - № 6. - С. 102-105.
7. **Скляnnиков В.П.** Строение и проектирование тканей. - М.: Легкая и пищевая промышленность, 1984. - 250 с.
8. **Скляnnиков В.П., Кондратьева А.В.** Система комплексов параметров строения тканей. –М.: Текстильная промышленность, 1988. - № 4.-С.38-39.
9. **Лыков А. В.** Тепломассообмен: Справочник. – М. : Энергия, 1978 . – 480 с.
10. **Бокова С.В.** Особенности проектирования влагозащитной спецодежды для работников автосервиса. Дис. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук, Шахты. - 2005.- 189с.
11. **Замотаев Н.П.** Тепловые свойства влажных тканей в пакетах // Технология текстильной промышленности. Изв. Вузов. – 1967. - № 1. - С. 14-19.
12. **Машкова Е.Н.** О взаимосвязи воздухопроницаемости и влагопроводности материалов одежды // Швейная промышленность. – 1974. - №7. - С. 6-10.
13. **Луцык Г. В., Казанский М. Ф., Доброхотова Н. Н., Мельник Н. В.** Исследование пористой структуры и водоудерживающих свойств вискозных

тканей различной плотности // Технология легкой промышленности. Изв. Вузов. – 1982. - № 4. - С. 43-47.

14. **Саливон Н.И., Казанский М.Ф., Луцык П.П., Луцык Р.В., Литовчук Д.П.** Влияние влаги и пористой структуры на коэффициент тепло- и массопереноса некоторых шерстяных тканей // Технология легкой промышленности. Изв. Вузов. – 1978. - № 5. - С. 24-29.
15. **Амирова Э.К., Сакулина О.В., Сакулин Б.С., Труханова А.Т.** Конструирование одежды – М.: Академия, 2005. -496с.
16. **Афанасьева Р.Ф.** Методы и критерии гигиенической оценки зимней спецодежды // Мат-лы науч.-практ. конф. Казань, 1976. -№ 1. - С. 239-245.
17. **Чубарова З.С.** Методы оценки качества специальной одежды. М.: Легпромбытиздат, 1988. - 161 с.
18. **Литвиненко Г.Е., Третьякова Л.И.** Массообмен в пакетах одежды. Технология легкой промышленности // Изв. Вузов. – 1972. - № 5. – С. 107-111.
19. **Воинов Ю.В., Князева К.В.** Условия накопления влаги в пакете одежды // Технология легкой промышленности. Изв. Вузов. – 1981. - № 6. - С. 63-65.
20. **Колесников П.А.** Теплозащитные свойства одежды. -М.: Лёгкая индустрия, 1976.-109с.
21. **Склянный В.П., Машкова Е.Н.** Исследование влияния строения тканей из химических волокон на их воздухопроницаемость // Текстильная промышленность, 1973. - № 6. - С. 75-77.
22. **Гущина К. Г.** Ассортимент, свойства и технические требования к материалам одежды. - М.: Легкая индустрия, 1978.-160с.
23. **Fohr J. P., D. Couton and G. Treguier** ‘Dynamic Heat and Water Transfer Through Layered Fabrics’, Textile Res. J., vol.72, no. 1. –P. 1-12. 2002.
24. **Hassan M. Behery** Effect of Mechanical and Physical Properties on Fabric HandWoodhead Publishing Series in Textiles Series, Woodhead Publishing in Textile Technology Series , Woodhead Pub.- 2005.- 480p

25. **Абрамов А.В., Родичева М.В.** Разработка методики экспериментального исследования потенциала влагопереноса швейных материалов в системе "человек - одежда - окружающая среда" // Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности. - 2009. - № 3(5). - С. 56-58
26. **Афанасьева Р.Ф., Бурмистрова О.В.** Охлаждающая среда и ее влияние на организм // В кн.: Профессиональный риск для здоровья работников / Под. ред. Н.Ф. Измерова, Э.И. Денисова. - М.: Травант. - 2003. - С. 142-149.
27. **Афанасьева Р.Ф.** Влияние количества слоев одежды на теплоизоляцию человека // Гиг. и сан. - 1965. - № 12. - С. 24-27.
28. **Измеров Н.Ф., Суворов Г.А., Афанасьева Р.Ф., Бурмистрова О.В.** Физиолого-гигиенические требования к одежде для защиты работающих от пониженных температур и методы оценки ее теплоизоляции // Ж. Медицина труда и промышленная экология. – 2001. -№ 6. - С. 27-30.
29. **Перепелкин К.Е., Садовский В.В., Иванцов В.И.** Сравнительный анализ влагообменных свойств нитей различного полимерного состава // Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности. - СПб.:СПГУТД, 2009. - № 1(3).- С.32-35
30. **Бузов Б.А., Алыменкова Н.Д.** Материаловедение в производстве изделий легкой промышленности. 2-е изд., М.: Издательский центр «Академия», 2004.- 448 с.
31. **Бузов Б.А, Румянцева Г.П.** Материалы для одежды. Ткани. - М.: ИД ФОРУМ: НИЦ Инфра. –М.: 2012. - 224 с.
32. **Романкевич О.В., Гаранина О.А., Бардаш Н.А.** Капиллярность волокнистых материалов // Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности. - СПб.:СПГУТД, 2013. -№ 1(19).- С. 3-6.
33. **Бартон А., Эдхольм О.** Человек в условиях холода. М.: Иностранная литература, 1965.- 334с.
34. **J. Williams** Textiles for Cold Weather Apparel. – Woodhead Publishing in Textiles, Woodhead Pub.- 2009.- 410 p.

35. **J. Fan, W. Yu, L. Hunter** Clothing Appearance and Fit: Science and Technology Woodhead publishing in textiles.- Taylor & Francis. – 2004. – 239 p.
36. **Татищев С. В., Янкелевич В. И.** Расчет теплоизоляционных свойств одежды текстильных материалов в условиях носки // Текстильная промышленность. – 1974. - № 11. - С. 70-73.
37. **Колесников П.А., Афанасьева Р.Ф., Гущина К.Г.** Проектирование производственной и специальной зимней одежды для различных условий труда и климата // Сб. Научно-исслед. тр. Центр, научно-исслед.ин-т шв. пром-ти (ЦНИИШП).- 1971.- С6.18.- С.3-28.
38. **Колесников П.А.** Основы проектирования теплозащитной одежды. -М: Легкая индустрия, 1971. - 112 с.
39. **Трещалина А.В., Тюменев Ю. Я., Трещалин М. Ю.** Определение эффективного коэффициента теплопроводности нетканого материала // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. - 2007. - N 4 (299). - С. 11-14.
40. **Брюханов О.Н., Шевченко С.Н.** Тепломассообмен. - М.: НИЦ Инфра-М, 2012. - 464 с.
41. **Черунова И.В.** Современный способ оценки теплозащитной функции одежды // Швейная промышленность. 2006. - № 6. - С. 37-38.
42. **Стефанова Е.Б., Черунова И.В.** ТЕПЛОЗАЩИТНАЯ ОДЕЖДА В УСЛОВИЯХ СНЕГА // Современные наукоемкие технологии. – 2014. – № 5 (часть 2). – С. 28-30.
43. **Афанасьева Р.Ф., Кричагин В.И., Окунева С.Г.** Некоторые показатели теплового состояния человека при охлаждении различной интенсивности // Гигиена и санитария. - 1969.- № 10. - С. 31-35.
44. **Афанасьева Р.Ф., Богачёв И.И.** Об использовании математического метода планирования в гигиенических исследованиях микроклимата // Гигиена и санитария. - 1982.- №5.- С. 61-64.
45. **Афанасьева Р.Ф., Богачёв И.И.** Определение дефицита тепла в организме человека при его охлаждении // Гигиена и санитария. - 1971. - № 7. - С. 38-43.

46. **Афанасьева Р.Ф., Оганян Р.О.** Сравнительная оценка теплового состояния мужчин и женщин в условиях охлаждённого микроклимата // Гигиена труда и проф. заболевания. - 1986.- №1. -С. 24-28.
47. **Афанасьева Р.Ф.** Физиолого-гигиенические принципы распределения теплоизоляционного материала в одежде. -М.: Лёгкая индустрия, 1970. - 136 с.
48. **Афанасьева Р.Ф.** Методические рекомендации по расчету теплоизоляции комплекта индивидуальных средств защиты работающих от охлаждения и времени допустимого пребывания на холоде. -М.: Легкая индустрия, 2003. -30 с.
49. **Афанасьева Р.Ф.** Какой утеплитель выбрать для защиты от холода // Униформа. 2001. - № 2. - С. 17-19.
50. **Афанасьева Р.Ф., Чубарова З.С., Кокеткин П.П.** Промышленное проектирование специальной одежды. - М.: Легкая и пищевая промышленность, 1982. - 181 с.
51. **Разумеев К. Э., Разбродин А. В., Юдин Б. В.** Единицы измерения и экспериментальная оценка теплозащитных свойств текстильных материалов // Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности. - СПб.:СПГУТД, 2009, № 2(4). -С. 29-34
52. **Афанасьева Р.Ф.** Физиолого-гигиенические принципы распределения теплоизоляционного материала в одежде // ЦНИИШП. Научно-исследовательские труды. Сб. 15.- М.: Лёгкая индустрия, 1970.- С. 71-75.
53. **Афанасьева Р.Ф., Бурмистрова О.В.** К обоснованию физиолого-гигиенических требований к показателям теплозащитных свойств зимних головных уборов. // Ж. Медицина труда и промышленная экология. -1995. -№7. - С. 4-9.
54. **Афанасьева Р.Ф., Бурмистрова О.В.** Охлаждающая среда и ее влияние на организм. // В кн.: Профессиональный риск для здоровья работников. Под. ред. Н.Ф. Измерова, Э.И. Денисова. - М.: Травант, 2003.- С. 142-149.
55. **Афанасьева Р.Ф., Бурмистрова О.В.** Холодовой стресс и его профилактика // Медицина труда и промышленная экология.- 2001.-№8.-С.10-15.

56. **Чижик М.А., Иванцова Т.М., Долгова Е.Ю., Каргополова Т.Ю.** Метод определения суммарного теплового сопротивления материалов и пакетов одежды // Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности. -СПб.:СПГУТД. – 2013. - № 1(19).- С. 20-22
57. **Umbach К.** Übergangs - phänomene von Wärme und Feuchte zwischen Textilschichten, Melliland Textilberichte, 1980, N 5, s. 466-469.
58. **Бузов Б.А., Жихарев А.П., Смирнов В.А.** Исследование некоторых физико-механических свойств материалов в широком интервале температур / М.: МТИЛП 450-х. – 1974. - 128 с.
59. **Бузов Б.А., Мишаков В.Ю., Заметта Б.В.** Новый утепляющий материал для одежды // Швейная промышленность. 2002. - №4. - С.37-38.
60. **Бузов Б. А.** Разработка методов оценки качества материалов для изделий, используемых при пониженных температурах : автореф. дис. докт. техн. наук: 05.19.01. / Моск. текстильный ин-т легкой промышленности. -М. - 1985.-48 с.
61. **Афанасьева Р.Ф., Бурмистрова О.В.** Физиолого-гигиенические требования к одежде для защиты от холода работающих на открытой территории Северных регионов. // Ж. Медицина труда и промышленная экология. - 1996. - № 6. - С. 10-15.
62. **Афанасьева Р.Ф., Репин Г.Н., Павлухин Л.В., Шлейфман Ф.М., Басаргина Л.А.** Критерии оценки теплового состояния человека для обоснования нормативных требований к производственному микроклимату // Гигиена и санитария. 1983. - № 7. - С. 79-81.
63. **Разбродин А.В.** Исследование термического сопротивления и тепловой расчет стеганых одеял с различными наполнителями: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.19.02. / Моск. текстильный ун-т. – М.- 2006. -20с.
64. **Афанасьева, Р.Ф., Кричагин В.И. , Казанцева Л.Б.** О количестве точек для получения средневзвешенных величин теплового потока с поверхности тела человека. // «Гигиена и санитария».- 1963. - № 11.- С. 63-66.

65. **Лиопо Т.Н., Циценко Г.В.** Климатические условия и тепловое состояние человека. Л., 1971.-152с.
66. **Куликов Б.П., Щадрова С.Н., Щадров В.С.** Исследование теплообмена в пакетах из текстильных материалов методом электроанalogии // Технология текстильной промышленности. Изв. Вузов. -1979, № 4, С. 19-21.
67. **Лебедева Е.О.** Исследование и разработка пакета специальной теплoзащитной одежды с повышенной устойчивостью к ветру. / Дис. на соиск. уч. степ. канд. техн. Наук, Шахты, 2006.- 217с.
68. **Лавров В.В., Спирин Н.А.** Методы планирования и обработки результатов инженерного эксперимента. – Екатеринбург, ГОУ ВПО УГТУ – УПИ, 2004.- 257с.
69. **Рыков В.В., Иткин В.Ю.** Математическая статистика и планирование эксперимента. – М.: Российский государственный ун-т нефти и газа им. И.М. Губкина, 2008. – 210с.
70. **Батрак А.П.** Планирование и организация эксперимента. Учебное пособие. – Красноярск: ИПЦ СФУ, 2007. – 60с.
71. **Бузов Б.А., Алыменкова Н.Д., Петропавловский Д.Г.** Практикум по материаловедению швейного производства. -М.: Издательский центр «Академия», 2003. - 416 с.
72. **Кудинов А.А.** Тепломассообмен. –М.: Инфрра, 2012. – 375с.
73. **Суслов В. А.** Тепломассообмен. - Санкт-Петербург: Изд. ГОУ ВПО СПбГТУРП, 2008. — 120с.
74. **Орлов М. Е.** Теоретические основы теплотехники. Тепломассообмен. - Ульяновск: Изд. УлГТУ, 2013. — 204с.
75. **Воскресенский В.Ю., Мороз Т.Г., Фадеев В.В.** Теплотехника. -М.: изд-во МГТУ, 2004. -80 с
76. **Цветков, Ф.Ф., Григорьев Б.А.** Тепломассообмен. - М.: Издательство МЭИ, 2005. – 550 с.

77. **Бузов Б. А., Алыменкова Н. Д.** Материаловедение в производстве изделий легкой промышленности (швейное производство). – М.: Академия, 2010.- 442с.
78. **Соловьев А.Н., Кирюхин С.М.** Оценка качества и стандартизация текстильных материалов. – М.: Легкая индустрия, 1974. – 248с.
79. **Назаров В. Н., Карабегов М. А., Мамедов Р. К.** Основы метрологии и технического регулирования: Учебное пособие – СПб: СПбГУ ИТМО, 2008. – 110с.
80. **Шлыков Г. П.** Теория измерений: уравнения, модели, оценивание точности: учеб. пособие - Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2008. – 100с.
81. **Тартаковский Д. Ф., Ястребов А. С.** Метрология, стандартизация и технические средства измерений: Учебник для вузов – М.: Высшая школа, 2001. -205с.
82. **Севостьянов А.Г.** Методы и средства исследования механико-технологических процессов текстильной промышленности. – М.: Легкая индустрия, 2007. – 648с.
83. **Лавров В.В., Спирин Н.А.** Методы планирования и обработки результатов инженерного эксперимента. – Екатеринбург, ГОУ ВПО УГТУ – УПИ, 2004.- 257с.
84. **Рыков В.В., Иткин В.Ю.** Математическая статистика и планирование эксперимента. – М.: Российский государственный ун-т нефти и газа им. И.М. Губкина, 2008. – 210с.
85. **Батрак А.П.** Планирование и организация эксперимента. Учебное пособие. – Красноярск: ИПЦ СФУ, 2007. – 60с.
86. **Хикс Ч.** Основные принципы планирования эксперимента. - М.: 2013. – 203 с.
87. **Кукин Г.Н., Соловьев А.Н.** Текстильное материаловедение. -М.: Легпромбытиздат, 1985. Т. 1. -214 с
88. **Кукин Г.Н., Соловьев А.Н., Кобляков А.И.** Текстильное материаловедение. - М.: Легпромбытиздат, 1989. Т. 2. -350 с.

89. **Жихарев А.П., Петропавловский Д.Г., Кузин С.К., Мишаков В.Ю.** Материаловедение в производстве изделий легкой промышленности. - М.: Издательский центр «Академия», 2004. - 448 с.
90. **Савостицкий Н.А., Амирова Э.К.** Материаловедение швейного производства.- М.: Академия, Мастерство, 2002. - 240 с.
91. **Крючкова Г. А.** Технология и материалы швейного. – М.: Академия, 2011. - 380 с.
92. **Majid Mirmehdi, Xianghua Xie, Jasjit S. Suri** Handbook of Texture Analysis Imperial College Press.- 2008.- 413p.
93. **Jacque Wilson** Handbook of Textile Design Woodhead Publishing Series in Textiles (Том 14).- 2001.-152p.
94. **J. W. S. Hearle** High-performance Fibres Woodhead Publishing Limited series on fibres (Том 15) Textile Institute.- 2001.- 329p
95. **Robert R. Franck Silk, Mohair** Cashmere and Other Luxury Fibres Woodhead Publishing Limited series on fibres, Woodhead Publishing Series in Textiles (Том 19), CRC Press.- 2001.- 247p
96. **A. Richard Horrocks, Subhash Anand, S. Anand** Handbook of Technical Textiles Woodhead Publishing Series in Textiles (Том 12), CRC Press.-2000.- 559 p.
97. **Peter R. Lord** Handbook of Yarn Production: Technology, Science and Economics CRC Press, 2003.- 494 p.
98. **Кедров Л.В.** Теплозащитные свойства обуви. – М.: Легкая индустрия, 1979. – 168с.
99. **Луканин В.Н., Шатров М.Г., Камфер Г.Ф.** Теплотехника. - М.: Высшая школа, 2000. – 671 с.
100. **Коновалова Л.С., Загромов Ю.А.** Основы теплотехники. Техническая термодинамика. - Томск: Изд. ТПУ, 2000. — 116 с.
101. **Королев В. Н.** Тепломассообмен. - Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2006. - 303 с.
102. **Шершнева А.П.** Качество одежды. - М.: Легпромбытиздат, 1985. — 192 с.

103. **Ермакова И.А.** Гигиена одежды. – Владивосток: ВГУЭС, 2006. -94с.
104. **Корн Г., Корн Т.** Справочник по математике для научных работников и инженеров: Определения, теоремы, формулы. - Изд - Лань, 2003. - 831с.
105. **Выгодский М. Я.** Справочник по высшей математике. – М.: АСТ: Астрель, 2010. – 703с.
106. **Балдин К.В., Башлыков В.Н., Рукосуев А.В.** Высшая математика. – М.: Флинта: МПСИ, 2010. – 359с.
107. **Аттетков А.В., Галкин С.В., Зарубин В.С.** Методы оптимизации. - М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2003. - 440 с.
108. **Гмурман В. Е.** Теория вероятностей и математическая статистика. – М.: Высшая школа, 2003. - 479с.
109. **Савельев И. В.** Курс общей физики. Книга 1, М.: АСТ, 2003. - 336с.
110. **Яворский Б.М., Детлаф А.А., Лебедев А.К.** Справочник по физике. – М.: Оникс, Мир и образование, 2006. – 1056с.
111. **Лозовский В.Н., Арсентьев В. В., Кирпиченков В. Я.** Курс физики. – М.: Лань, 2000. – 576с.
112. **Трофимова Т. И.** Физика в таблицах и формулах. – М.: Дрофа, 2002. – 424с.
113. **Дмитриева В.Ф., Прокофьев В. Л.** Основы физики. –М.: Высшая школа, 2001. – 527с.