

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ
АРМЕНИЯ**

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ АРМЕНИИ

САРГСЯН САМСОН АЙКАЗОВИЧ

**РАЗРАБОТКА ОБОГРЕВАЕМОЙ ОДЕЖДЫ СПЕЦИАЛЬНОГО
НАЗНАЧЕНИЯ**

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 2015

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
ГЛАВА 1. АНАЛИЗ ДАННЫХ ПО СИСТЕМАМ И ИЗДЕЛИЯМ С ЭЛЕКТРООБОГРЕВОМ, НАГРЕВАТЕЛЬНЫМ ЭЛЕМЕНТАМ, ИСТОЧНИКАМ ПИТАНИЯ И КОНСТРУКЦИЯМ ЭЛЕКТРООБОГРЕВАЕМОЙ ОДЕЖДЫ	9
1.1. Анализ систем и изделий с электрообогревом.....	9
1.2 Анализ современных нагревательных элементов и источников питания.....	13
1.3 Анализ конструкций электрообогреваемой одежды.....	22
ВЫВОДЫ	26
ГЛАВА 2. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ	28
2.1 Организация, порядок и методика проведения экспериментальных исследований диссертационной работы	28
2.2. Градуировка терморезисторов для экспериментальных исследований разработанных вариантов электрообогреваемого комбинезона.....	32
ВЫВОДЫ	35
ГЛАВА 3. РАЗРАБОТКА ВАРИАНТОВ КОНСТРУКЦИЙ ЭЛЕКТРООБОГРЕВАЕМОГО КОМБИНЕЗОНА ДЛЯ СТРОИТЕЛЕЙ	37
3.1 Роль и значение электрообогреваемой производственной одежды.....	37
3.2 Выбор материалов для вариантов электрообогреваемого комбинезона.....	39
3.3 Описание электрообогреваемого комбинезона 1.....	41
3.4 Описание электрообогреваемого комбинезона 2.....	45
3.5 Описание и характеристика электрообогреваемого комбинезона 3.	47
3.6 Базовая основа и технология изготовления электрообогреваемых комбинезонов.....	52

3.7 Сравнение электрообогреваемых комбинезонов 1, 2 и 3 и выбор его основной конструкции.....	55
ВЫВОДЫ	56
ГЛАВА 4. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИСПЫТАНИЙ ЭЛЕКТРООБОГРЕВАЕМОГО КОМБИНЕЗОНА И ИХ АНАЛИЗ.....	57
4.1 Исследование продолжительности работы аккумуляторной батареи при различных температурах внешней среды и выбор рационального положения терморегулятора.....	57
4.2. Исследование местных теплотерь с поверхности тела строителя в электрообогреваемом комбинезоне при различных температурах внешней среды.....	65
4.3 Исследование динамики изменения локальных температур тела строителя в электрообогреваемом комбинезоне.....	77
4.4 Исследование средних температур на поверхностях отдельных слоев белья и электрообогреваемого комбинезона.....	90
ВЫВОДЫ	92
ГЛАВА 5. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОПЕРЕНОСНЫХ ПРОЦЕССОВ В ЭЛЕКТРООБОГРЕВАЕМЫХ КОМБИНЕЗОНАХ И ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРООБОГРЕВА.....	94
5.1 Моделирование теплотерь с поверхности тела строителя в электрообогреваемом комбинезоне 2.....	94
5.2 Расчет температурных полей в электрообогреваемом комбинезоне 3 б	99
5.3 Оценка эффективности разработанного комбинезона 3б	104
ВЫВОДЫ	107
ОБЩИЕ ВЫВОДЫ.....	108
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	111
Приложение 1.....	119

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы

Одна из важнейших функций одежды - обеспечение теплового комфорта, который является условием нормальной жизнедеятельности человека и выражающийся в его хорошем самочувствии и высокой работоспособности.

Создание нормального микроклимата непосредственно вокруг тела человека, обеспечение его нормального теплового состояния во многом определяются конструкцией одежды и техническими параметрами пакета ее материалов (например, их толщиной, воздухопроницаемостью, теплопроводностью, влагопроводностью).

Проведенный обзор литературных источников показал, что существующие в настоящее время материалы для специальной одежды не могут противодействовать низким отрицательным температурам внешней среды даже при большом количестве ее слоев. Во-первых, увеличивается масса специальной одежды, что отрицательно сказывается на работоспособности человека и, во-вторых материалы, собранные в пакеты не могут обеспечивать требуемое термическое сопротивление пакета в соответствии с параметрами внешней среды.

Существующее ограничение в создании одежды с высокими теплоизоляционными свойствами не позволяет защитить организм человека от охлаждения при воздействии на него особо низких температур, тем более если он вынужден длительное время находиться в этих условиях.

Согласно полученным результатам и имеющимся данным, из применяемых в настоящее время материалов практически нельзя изготовить одежду с теплоизоляционными свойствами, превышающими $1,1(\text{м}^2\text{К})/\text{Вт}$. Однако и эта одежда в условиях производственной деятельности не может быть использована вследствие больших массы и толщины, ограничивающих подвижность человека и его работоспособность.

Применение внешнего источника тепла позволит обеспечить соответствующее тепловое состояние человека при одновременном уменьшении массы одежды и расхода

материалов на ее изготовление, повысить работоспособность человека и сократить непроизводительные затраты времени на обогрев.

Следует отметить, что большинство попыток по использованию в одежде внешних источников тепла связано с применением электроэнергии, которая может обеспечить наиболее регулируемую и равномерную подачу тепла к поверхности тела человека. Из проводников тока для изготовления одежды наиболее приемлемыми в настоящее время являются токопроводящие графитированные: ленты, которые легко настрачиваются на слой материала, имеют малую массу и большую теплоизлучающую поверхность.

В настоящее время разработаны различные варианты одежды с использованием графитированных токопроводящих элементов, отличающиеся друг от друга локализацией последних в одежде, а также их общей площадью. Однако разработанные варианты электрообогреваемой одежды или стационарны и требуют напряжения 220 В от сети переменного тока, что ограничивает зону действия рабочего, или не способны функционировать длительное время при использовании источников постоянного тока вследствие их малой мощности. Поэтому разработка и комплексное исследование электрообогреваемой специальной одежды для рабочих, способной длительное время функционировать без подзарядки источников питания в переходном и холодном периодах года, и, имеющей сравнительно небольшую массу, представляет собой актуальную задачу.

Целью диссертационной работы является повышение теплозащитных свойств и снижение массы одежды для строителей, работающих в условиях пониженных температур внешней среды.

В соответствии с целью диссертационной работы выдвинуты и решены следующие задачи:

- обосновать целесообразность применения электрообогрева для повышения теплозащитных свойств одежды;
- провести выбор и обоснование основных и вспомогательных материалов для разрабатываемых вариантов электрообогреваемой одежды для строителей;
- обосновать и выбрать нагревательные элементы и источники питания постоянного тока для ее электрообогрева;

- разработать варианты конструкций электрообогреваемой одежды для строителей и провести выбор наилучшего из них;

- исследовать местные теплотери с поверхности тела строителя в электрообогреваемой одежде при различных температурах внешней среды и на их основе определить места установки нагревательных элементов;

- исследовать динамику изменения температуры отдельных частей тела строителя в электрообогреваемой одежде и температуры на поверхностях ее отдельных слоев при различных температурах внешней среды;

- провести сравнение существующей электрообогреваемой одежды с разработанной по условиям обеспечения нормального теплового состояния и высокой работоспособности строителя в переходном и холодном периодах года;

- разработать математические модели, позволяющие рассчитать нестационарный процесс переноса теплоты через многослойный пакет материалов разработанных вариантов электрообогреваемой одежды.

Объектом исследования являются разработанные варианты специальной электрообогреваемой одежды для строителей.

Предметом исследования являются теплозащитные свойства разработанных вариантов электрообогреваемой одежды.

Научная новизна работы. В диссертационной работе получены результаты, отличающиеся научной новизной.

- Доказано, что применением электрообогрева можно значительно повысить теплозащитные свойства одежды и одновременно снизить ее массу.

- Показано, что наилучшими нагревательными элементами, с точки зрения массы и затрат электроэнергии, являются резисторы марки МЛТ.

- Выявлено, что резисторы для электрообогрева необходимо устанавливать на участках одежды, характеризующихся наибольшими тепловыми потерями, предотвращая перегрев организма строителя.

- Показано, что применение регулятора температуры в электрообогреваемой одежде позволяет устанавливать оптимальный микроклимат в пододежном пространстве.

- Выявлено, что нагревательная система из электрических резисторов и аккумуляторной батареи постоянного тока позволяет около 4-х часов обеспечивать нормальный тепловой режим без подзарядки батареи.

Практическая значимость работы заключается в том, что разработанная электрообогреваемая одежда, обладая сравнительно небольшой массой, позволяет строителю продолжительное время находиться на открытом воздухе в условиях различных отрицательных температур внешней среды, а также в возможности использования предложенной электрообогреваемой одежды для других профессий рабочих. Результаты диссертационной работы могут быть успешно использованы при конструировании электрообогреваемой одежды на швейных предприятиях, научно-исследовательских институтах а также в учебном процессе при преподавании дисциплин “Технология швейных изделий” и “Конструирование швейных изделий”.

Методы исследования. В выполненных в диссертационной работе теоретических и экспериментальных исследованиях использованы методы метрологии, физического, математического моделирования, приближенных методов решения дифференциальных уравнений на базе широкого использования компьютерной техники.

Основные положения, выносимые на защиту;

- варианты конструкций электрообогреваемой одежды для строителей работающих в северных районах Армении;
- система электрообогрева основного варианта одежды;
- система контроля температуры пододежного пространства,
- результаты исследований теплотерь с поверхности тела строителя в электрообогреваемой одежде, выполняющего работы средней тяжести при различных температурах внешней среды;

- результаты экспериментальных исследований температурных полей в электрообогреваемой одежде и температур пододежного пространства в зависимости от температуры внешней среды при выполнении строителем работ средней тяжести ;

- база данных по продолжительности работы аккумуляторной батареи до подзарядки при низких температурах внешней среды;

- математические модели расчета температурных полей в одежде с учетом электрообогрева.

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

- Международной научно-практической конференции “Инновационные технологии и защита окружающей среды” Государственного университета им. А. Церетели (г. Кутаиси, 2012г.);

- Международной научно-практической конференции “Наука-образованию, производству, экономике” Белорусского национального технического университета (г. Минск, 2014г);

- Ежегодных научных конференциях ГИУА (г. Ереван, 2013, 2014 и 2015гг.);

- Научно-методических семинарах кафедры “Текстильная инженерия” Гюмрийского филиала ГИУА (г. Гюмри: 2012-2013гг).

Публикации. Основные результаты диссертационной работы опубликованы в 8 научных работах, одна из которых без соавторов.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, основных выводов и списка использованной литературы, включающего 105 наименований. Она изложена на 123 страницах, содержит 58 рисунков, 25 таблиц и одно приложение.

ГЛАВА 1. АНАЛИЗ ДАННЫХ ПО СИСТЕМАМ И ИЗДЕЛИЯМ С ЭЛЕКТРООБОГРЕВОМ, НАГРЕВАТЕЛЬНЫМ ЭЛЕМЕНТАМ, ИСТОЧНИКАМ ПИТАНИЯ И КОНСТРУКЦИЯМ ЭЛЕКТРООБОГРЕВАЕМОЙ ОДЕЖДЫ

1.2. Анализ систем и изделий с электрообогревом

Для улучшения теплового состояния человека при одновременном уменьшении массы одежды и расхода материалов на ее изготовление, повышения работоспособности и сокращения непроизводительных затрат времени на обогрев наиболее актуальным является применение источников тепла в одежде.

Для выбора и обоснования системы электрообогрева разрабатываемых вариантов специальной одежды проведен анализ существующих систем электрообогрева и нагревательных элементов, нашедших широкое применение в различных областях науки и техники. Разрабатываемая электрообогреваемая одежда предназначен для строителей, но может быть использован и для работников других профессий, которые вынуждены длительное время находиться на открытом воздухе в условиях пониженных температур.

Рассмотрены и проанализированы следующие существующие методы: электрообогрев сидений автомобилей; медицинские биндажи и поясничные подушки с инфракрасным подогревом; утягивающие повязки для пояса, плеча, запястья, бедра, стопы, локтя, лодыжки, колена с инфракрасным подогревом; стельки и перчатки с подогревом; обогревающие спальные принадлежности (одеяла, пледы, на матрацники, спальные мешки), предназначенные для создания теплового комфорта при низких температурах внешней среды; накидки медицинские, грелки, носки, сапожки, массажные накидки с подогревом.

Электрообогрев сидений автомобилей осуществляется с помощью встроенных в них матов, в которые переплетены нагревательные элементы из углеволокна. Используются также накидки на сидения автомобилей с заложенными в них матами с нагревательными элементами из углеволокна [1-3].

В качестве источника питания для нагревательных элементов используется аккумуляторная батарея напряжением 12В. Обогрев сидений пожаробезопасен, так как кроме различных цепей защиты от нештатных ситуаций, сама его конструкция не позволяет нагреваться выше температуры 45⁰ С. Используя турборежим, всего за 3 минуты можно

нагреть сиденье до максимальной рабочей температуры, после чего осуществляется автоматический переход в один из 8-ми предустановленных режимов работы. Имеется возможность автоматического отключения, когда обогрев сидения уже не нужен.

Медицинские бандажи и поясничные подушки с инфракрасным подогревом предназначены для профилактики и лечения различных заболеваний, связанных с простудой, переохлаждением тела в области поясницы и седалищной части тела, устранения или сведения к минимуму болей, связанных с последствием различных перенесенных заболеваний [4-6]. Поясничные подушки имеют габаритные размеры 396x320x120 мм и массу нетто- 925г. Питание медицинских бандажей и поясничных подушек осуществляется от сети напряжением 220В через адаптер 12В и 1,5А. Питание можно производить также от аккумуляторной батареи автомобиля. Температура нагрева составляет 45...55 °С, а потребляемая мощность – 13Вт.

Повязки утягивающие для пояса, плеча, запястья, бедра, стопы, локтя, лодыжки, колена с инфракрасным обогревом предназначены для уменьшения болевых ощущений, повышения гибкости суставов и эластичности тканей, стимулирования кровотока в сосудах и капиллярах, увеличения скорости противовоспалительного лечения в тканях и суставах [5,6]. Питание повязок производится от сети напряжением 220В через адаптер 12В и 1,5А. Питание можно производить также от аккумуляторной батареи автомобиля. Повязки нагреваются до температуры 45...55°С. Ниже в табл. 1.1 приведены размеры элементов нагрева для различных утягивающих повязок и потребляемые ими мощности[6].

Стельки с подогревом подходят для любого типа обуви размером 35-46. Стельки просто обрезаются до подходящего под обувь размера. Внутри стельки расположена карбоновая пластина, которая нагревается за счет инфракрасного излучения [7]. Температура нагрева составляет от 40 до 45°С. Нагревательный элемент расположен в передней части стопы под пальцами. При этом инфракрасное излучение улучшает циркуляцию крови, что обеспечивает распространение тепла по всей стопе.

Время работы стелек с подогревом составляет 3,5...5 часов. Температура нагрева и время работы стелек с подогревом зависит от типа и мощности элементов питания. Каждая стелька имеет свой блок управления, который удобно крепится либо на голени, либо на

внешней стороне ботинка. Для работы стелек с подогревом используются стандартные батарейки или перезаряжаемые аккумуляторы (по 3 штуки в каждом блоке)

Таблица 1.1.

Размеры и потребляемая мощность для утягивающих повязок с инфракрасным обогревом

№	Тип повязки	Размеры, мм	Потребляемая мощность, Вт
1.	для пояса	320 x 160	14
2.	для плеча	260 x 70	6,5
3.	для запястья	260 x 70	6,5
4.	для бедра	320 x 160	14
5.	для стопы	260 x 70	6,5
6.	для локтя	260 x 15	10
7.	для лодыжки	220 x 210	10
8.	для колена	240 x 220	10

Перчатки с подогревом изготовлены из водонепроницаемого и дышащего материала с утеплителем и оснащены современными нагревательными элементами для комфортного обогрева рук [8-10]. Они выполнены в темных тонах и обладают большой гибкостью, что делает их наиболее удобными в использовании. Нагревательные элементы расположены на тыльной стороне рук и пальцев, или же в каждом пальце для более качественного распространения тепла по всей руке. Нагревательные элементы питаются от батареек или аккумуляторов, которые обеспечивают бесперебойную работу перчаток от 3 до 5 часов. Потребляемая мощность до 5 Вт. Перчатки снабжены выключателем, который позволяет контролировать обогрев.

Обогревающие спальные принадлежности (одеяла, пледы, на матрацники, спальные мешки) предназначены для создания теплового комфорта при изменении температуры окружающего воздуха [11-15]. Они незаменимы на дачах и в плохо отапливаемых жилых помещениях, особенно, в переходном периоде года, когда отопительная система отключена. В качестве нагревательного элемента используются электропроводные полимерные волокна, покрытые серебром, а не металлические проводники. Обогрев можно осуществить как от

стационарного, так и от автономного источника питания. Обогревающие спальные принадлежности оснащены регулятором температуры для подбора комфортного теплового режима. Время нагрева принадлежностей составляет 5...10 мин. Мощность электропотребления в режиме максимального нагрева составляет 40 Вт, а температура нагрева - 40...45°C.

Медицинские накидки, грелки предназначены для мягкого, равномерного, успокаивающего нагрева тела человека (операции, лечебный процесс) [6,16,17]. В качестве нагревательного элемента используются электропроводные полимерные волокна, покрытые серебром. Нагрев можно осуществить как от сети переменного тока 220 В, так и от аккумуляторной батареи. Потребляемая мощность составляет 40...50 Вт.

Носки с подогревом изготавливаются на 36...40% из шерсти и нормально переносят ручную стирку [18]. Электрообогрев осуществляется при помощи мягкой, съемной карбоновой пластины, расположенной в кармане носка под пальцами. Карбоновая пластика излучает инфракрасное тепло, улучшающее циркуляцию крови, и, обеспечивающее распространение тепла по всей поверхности стопы. Температура нагрева составляет 40...45°C, а время непрерывной работы (5-6) ч от обычных пальчиковых батареек или аккумуляторов. С одной стороны, это дает свободу передвижений в отличие от тапочек и сапожек с подогревом, зависящим от USB - порта, но с другой – батарейки необходимо часто менять, а аккумуляторы – подзаряжать.

USB – сапожки, тапочки, рукавицы с подогревом предназначены для обогрева рук и ног человека от USB порта[19]. Обогрев USB – сапожек и тапочек осуществляется при помощи специального нагревательного элемента, расположенного внутри подошвы, а USB – рукавиц – при помощи элемента, расположенного на тыльной стороне рук в области пальцев. Через несколько секунд после подключения нагревательного элемента к USB – порту сапожки, тапочки и рукавицы начинают согревать человека. USB – сапожки, тапочки и рукавицы подключаются к USB – порту при помощи шнура длиной 1,5м, что позволяет свободно работать сидя у компьютера. Температура подогрева составляет 32...45°C.

Массажная накидка с подогревом предназначена для людей, долгое время находящихся сидя за рулем автомобиля, в офисным креслах, дома у телевизора или

компьютера и постоянно чувствующих дискомфорт, а иногда и боли в спине и области таза [20]. Подогрев накидок осуществляется инфракрасными пленками от сети переменного тока 220 В с адаптером, рассчитанным на 12 В. Постоянное использование накидки поможет улучшить кровообращение, обмен веществ, избавиться от постоянных болей в мышцах и нормализовать работу нервной системы. Магниты внутри накидки создают сильное магнитное поле, позволяющее улучшить капиллярное кровообращение. Накидка работает также от прикуривателя автомобиля.

Анализ современных систем и изделий с электроподогревом показал, что в основном их питание осуществляется или от сети переменного тока напряжением 220В, или от аккумуляторной батареи автомобиля, что делает невозможным использование проанализированных систем в разрабатываемой одежде для строителей вследствие ограниченности радиуса действия строителя или большой массы одежды.

1.3. Анализ современных нагревательных элементов и источников питания

С целью выбора нагревательных элементов и источников питания для разрабатываемых вариантов электрообогреваемого комбинезона проведен анализ современных нагревательных элементов и источников питания, применяемых в различных областях науки и техники и в вышеописанных системах электрообогрева [14, 15, 21, 22].

Рассмотрены нагревательные элементы из нихромовой проволоки, нихромовой ленты, инфракрасные пленки, низковольтные нагревательные элементы, электронагревательная ткань, углеродные волокна, тонкопленочные и ленточные электронагреватели, электрические спирали а также источники питания: никель-кадмиевые аккумуляторы, портативные (герметизированные) свинцовые аккумуляторы, тяговые аккумуляторы, стационарные аккумуляторы, свинцовые аккумуляторы, никель-железные аккумуляторы, никель-металлогидридные аккумуляторы, никель-цинковые аккумуляторы, серебряно-цинковые и серебряно-кадмиевые аккумуляторы, никель-водородные аккумуляторы, литий-ионные аккумуляторы, литий-полимерные аккумуляторы, перезаряжаемые марганцево-цинковые источники тока.

Нихромовая проволока состоит из никеля, хрома и дополнительных элементов, которые способны повысить эксплуатационные характеристики [22 - 24].

Нихром является универсальным материалом, который применяется практически во всех отраслях промышленности.

Нихромовая проволока обладает прекрасными свойствами: высоким электрическим сопротивлением, повышенной стойкостью к воздействию агрессивных сред, а также хорошими антикоррозионными свойствами. Нихромовую проволоку можно применять при высоких температурах, так как у неё высокая жаростойкость и для изготовления резисторов и нагревательных элементов.

Нихромовая лента изготавливается из сплавов марок X20H80, X20H80-H, X15H60, X15H60-H [25]. Нихромовая лента марок X15H60, X15H60-H и X20H80-H должна иметь толщину 0,1 ... 3,2 мм и ширину – 6...250 мм. Длина ленты в зависимости от ширины и толщины не менее 40, 20 или 10 м. Лента нихромовая толщиной 0,2 мм и более должна быть изготовлена в мягком термически обработанном состоянии, а толщиной менее 0,2 мм - в нагартованном состоянии. Нихромовая лента используется для изготовления нагревательных элементов и элементов сопротивления.

Одним из самых важных показателей продукции из нихрома, в частности, нихромовой ленты, является удельное электрическое сопротивление. Для лент, изготовленных из сплавов X15H60 и X15H60-H, оно должно быть 1,05 ... 1,16 мкОм·м, из сплавов X20H80 и X20H80-H - 1,06 ... 1,17 мкОм·м. Механические свойства нихромовой ленты толщиной 0,2 мм и более приведены в таблице 1.2.

Инфракрасные пленки представляют собой сверхтонкий новый материал, используемый в различных системах нагрева [26]. Толщина инфракрасной пленки составляет 0,4 мм.

Инфракрасные лучи, испускаемые пленкой нагревают предметы, а не воздух. При применении этих пленок практически отсутствует электромагнитное излучение. Инфракрасные пленки - экологически чистый материал, полезный для здоровья человека. Пленки могут использоваться в медучреждениях и детсадах. Они влагоустойчивы и пожаробезопасны.

Механические свойства нихромовой ленты

Марка сплава	Временное сопротивление разрыву, Н/мм ²	Относительное удлинение, %
	не более	не менее
X15H60, X15H60-H, X20H80, X20H80-H	834	20

Допускается укорачивание секций инфракрасной пленки, а также дальнейшее применение оставшихся частей для обогрева.

Инфракрасные пленки монтируются на любые поверхности. Применение инфракрасных пленок для нагрева дает возможность регулирования температурного и временного режимов.

Низковольтные нагревательные элементы. Они представляют собой эластичные нагреватели массой не более 15г, толщиной 0.3мм и относительно небольшими размерами 28x20см [27]. Они влагонепроницаемы, что повышает их класс безопасности. Максимальная температура на поверхности элемента составляет 50⁰С, при этом потребляемая мощность составляет 20 Вт. Элементы питаются от источника напряжением 12 В и могут работать в диапазоне температур окружающей среды от -40⁰С до 50⁰С.

Электронагревательная ткань представляет собой выполненное переплетением нитей полотно, состоящее из основных неэлектропроводных нитей, и перпендикулярно к ним электропроводных резистивных нитей, каждая из которых состоит из центрального волокна с оболочкой из полимерного резистивного материала, содержащего углеродный наполнитель (уголь + графит) [28].

Углеродные волокна – это органические материалы, подвергшиеся термическому воздействию при температурах 1000...3000⁰С и содержащие 92...99.99 % углерода [29].

По сравнению с обычными конструкционными материалами, например, алюминием или сталью, композиты с углеродными волокнами обладают некоторыми весьма полезными свойствами:

Они имеют исключительно высокую термостойкость - в инертных средах или в вакууме до 3000°C (температура плавления стали 1500°C) - на воздухе до 450°C. Удельное электрическое сопротивление можно задать - от 0,02 Ом · м · 10⁻⁶ (сопротивление меди) - до 1,0 Ом · м · 10⁹ (сопротивление полупроводника) Благодаря своим характеристикам) - большой активной поверхности (до 2500 м²/г), невероятной прочности (3,6 ГН/м²) в 2 раза превышающей прочность стали (1,8 ГН/м²) и малой массе, которая в 4 миллиона раз меньше массы стали (плотность 1,9 г/м³, а плотность стали 7,82 т/м³) и высоким сорбционным свойствам (1 г поглощает до 50 г нефтепродуктов) - углеродные волокна превосходят все известные жаростойкие волокнистые материалы!

Тонкопленочные и ленточные электронагреватели. Мощность, выделяющаяся в тепловыделяющем проводнике при протекании по нему тока, равна U^2/R (где R - сопротивление проводника), а мощность отвода тепла пропорциональна площади поверхности проводника. Поэтому круглые проводники (проволока) являются самыми неудачными видами тепловыделяющих элементов. Наибольшую эффективность имеют тонкие плёнки и ленты (полосы), сочетающие малое поперечное сечение проводника и большую поверхность теплоотдачи.

Тонкие токопроводящие плёнки наносятся на диэлектрические подложки (стеклянные, керамические, пластмассовые) методами металлизации благородными металлами (золото, серебро, платина), тугоплавкими (вольфрам, молибден, тантал, хром), сплавами на основе железа. Толщина металлических плёнок изменяется от долей микрона до сотен микрон. Применяются и керамические токопроводящие покрытия, лакокрасочные, металлополимерные и др. В быту тонкие плёнки используются уже достаточно широко: это и тонкопленочные настенные обогреватели на основе стеклопластика типа «доброе тепло» и нагревательные полоски на задних стёклах автомобилей, и незапотевающие зеркала в ванных комнатах. Теплопроводящие плёнки могут оформляться в виде декоративных мелких сеток или узоров на стекле, и даже само листовое стекло с добавками окиси олова может изготавливаться целиком токопроводящим и тепловыделяющим. Плёночные электронагреватели, как правило, маломощны (не более сотен ватт на 1 м² площади) [15,22,30].

Электрические спирали. Сорок-пятьдесят лет тому назад в области электрообогревательных приборов царствовали открытые электроспиральи - мерные отрезки проволоки из металлических сплавов с высоким электрическим сопротивлением [31]. Так, наиболее известный сплав 67,5% Ni, 16% Fe, 15% Cr и 1,5% Mn (нихром) имеет удельное электросопротивление 10^{-6} Ом·м, намного большее удельного сопротивления железа ($0,098 \cdot 10^{-6}$ Ом·м), алюминия ($0,028 \cdot 10^{-6}$ Ом·м), меди ($0,017 \cdot 10^{-6}$ Ом·м). Высокое электросопротивление нихрома позволяет использовать короткие отрезки проволоки (не более нескольких метров при диаметрах 0,1...0,5 мм), в качестве нагревательных элементов. Для большей компактности отрезки проволоки наматывают на стержни диаметром 2...5 мм с получением спиралей.

Рассмотрим основные источники питания постоянного тока, которые нашли широкое применение в различных областях науки и техники и имеют возможность подзарядки.

Свинцовые аккумуляторы. Реагентами в свинцовых аккумуляторах служат диоксид свинца (PbO_2) и свинец (Pb), электролитом - раствор серной кислоты. Они также называются свинцово-кислотными аккумуляторами [32 - 36]. Их разделяют на четыре основные группы; стартерные, стационарные, тяговые и портативные (герметизированные). Наиболее распространенные из свинцовых аккумуляторов - стартерные аккумуляторы, предназначены для запуска двигателей внутреннего сгорания и энергообеспечения устройств машин. В последние годы в основном используются аккумуляторы, не требующие ухода. К недостаткам относят невысокие удельную энергию и наработку, плохую сохранность заряда, выделение водорода.

Стационарные аккумуляторы используются в энергетике, на телефонных станциях, в телекоммуникационных системах, в качестве аварийного источника тока и т.д. Обычно они работают в режиме непрерывного подзарядка. Относятся к недорогим аккумуляторам.

Тяговые аккумуляторы предназначены для электроснабжения электрокаров, подъемников, шахтных электровозов, электромобилей и других машин. Действуют в режимах глубокого разряда, имеют большой ресурс и низкую стоимость.

Портативные (герметизированные) свинцовые аккумуляторы используются для питания приборов, инструмента, аварийного освещения. К их достоинствам относятся более

низкая стоимость по сравнению со стоимостью других портативных аккумуляторов, широкий интервал рабочих температур. Недостатками кислотных аккумуляторов являются невозможность хранения в разряженном состоянии, трудность изготовления аккумуляторов малых размеров.

Никель-кадмиевые аккумуляторы. Реагентами в никель-кадмиевых аккумуляторах служат гидроксид никеля и кадмий, электролитом - раствор КОН, поэтому они именуется щелочными аккумуляторами [35-39]. Существуют три основных вида никель-кадмиевых аккумуляторов: негерметичные с ламельными (ламельные аккумуляторы) и спеченными электродами (безламельные аккумуляторы) и герметичные. Наиболее дешевые ламельные никель-кадмиевые аккумуляторы характеризуются плоской разрядной кривой, высокими ресурсом и прочностью, но и достаточно высокой удельной энергией. Удельная энергия и скорость разряда Ni-Cd аккумуляторов со спеченными электродами выше, они работоспособны при низких температурах, но дороже, характеризуются эффектом памяти и способностью к тепловому разгону.

Применяются никель-кадмиевые аккумуляторы для питания шахтных электровозов, подъемников, стационарного оборудования, средств связи и электронных приборов, для запуска дизелей и авиационных двигателей и т.п.

Герметичные Ni-Cd аккумуляторы характеризуются горизонтальной разрядной кривой, высокими скоростями разряда и способностью действовать при низких температурах, но они дороже герметизированных свинцовых аккумуляторов и характеризуются эффектом памяти. Применялись для питания портативной аппаратуры (сотовых телефонов, магнитофонов, компьютеров и т.д.), бытовых приборов, игрушек и т.д. Недостатком никель-кадмиевых аккумуляторов является применение токсичного кадмия.

Никель-железные аккумуляторы. Вместо кадмия в этих аккумуляторах используется железо [35 - 39]. Из-за выделения водорода с самого начала заряда аккумуляторы производят только в негерметичном варианте. Они дешевле никель-кадмиевых аккумуляторов, не содержат токсичный кадмий, имеют длинный срок службы и высокую механическую прочность. Однако они характеризуются высоким саморазрядом, низкой отдачей по энергии, практически неработоспособны при температуре ниже -10°C . Выпускаются в

призматическом виде и используются в основном как тяговые источники тока в шахтных электровозах, электрокарах и промышленных подъемниках.

Никель-металлогидридные аккумуляторы (Ni-MH). Активным материалом отрицательного электрода является интерметаллид, обратимо сорбирующий водород, т.е. фактически отрицательный электрод является водородным электродом, у которого восстановленная форма водорода находится в абсорбированном состоянии [35-39]. Разрядная кривая Ni-MH аккумулятора аналогична кривой Ni-Cd аккумулятора. Удельная емкость и энергия никель-металлогидридных аккумуляторов в 1,5...2 раза выше удельной энергии никель-кадмиевых аккумуляторов, кроме того, они не содержат токсичный кадмий. Изготавливаются в герметичном исполнении цилиндрической, призматической и дисковой форм. Применяются для питания портативных приборов и аппаратуры.

Никель-цинковые аккумуляторы. Это щелочные аккумуляторы, у которых отрицательный электрод – цинковый [37-39]. Удельная энергия никель-цинковых аккумуляторов примерно в 2 раза выше удельной энергии Ni-Cd аккумуляторов. Они характеризуются горизонтальной разрядной кривой, высокой удельной мощностью и относительно невысокой начальной ценой, однако ресурс их мал, поэтому массового применения не имеют. Применяются для питания портативной аппаратуры

Серебряно-цинковые и серебряно-кадмиевые аккумуляторы. Активными материалами служат оксид серебра на положительном и цинк или кадмий - на отрицательном электродах соответственно, электролитом является раствор щелочи [37 - 39]. Характеризуются высокими удельными энергиями и мощностью, низким саморазрядом, но весьма дороги. Серебряно-цинковые аккумуляторы имеют незначительный ресурс. Выпускаются в призматической и дисковой формах, применяются для питания портативных приборов и аппаратов, в военной технике.

Никель-водородные аккумуляторы. Отрицательным электродом служит пористый газодиффузионный электрод с платиновым катализатором, на котором обратимо реагирует газообразный водород [36-39]. Характеризуются высокой удельной энергией и очень высоким ресурсом, но значительным саморазрядом и очень дороги. Применялись в космической технике.

Литий-ионные аккумуляторы (Li-ion). В качестве отрицательного электрода применяется углеродистый материал, в который обратимо внедряются ионы лития [35-38]. Активным материалом положительного электрода обычно служит оксид кобальта, в который также обратимо внедряются ионы лития. Электролитом является раствор соли лития в неводном апротонном растворителе. Аккумуляторы имеют высокую удельную энергию, высокий ресурс и способны работать при низких температурах. Благодаря высокой удельной энергии их производство в последние годы резко увеличилось. Выпускаются в цилиндрической и призматической формах. Они применяются в сотовых телефонах, ноутбуках и других портативных устройствах.

Литий-полимерные аккумуляторы (Li-pol). Анодом служит углеродистый материал, в который обратимо внедряются ионы лития [35-38]. Активными материалами положительных электродов являются оксиды ванадия, кобальта или марганца. Электролитом является или раствор соли лития в неводных апротонных растворителях, заключенный в микропористую полимерную матрицу, или полимер (полиакрилонитрил, полиметилметакрилат, поливинилхлорид либо другие), пластифицированный раствором соли лития в апротонном растворителе (гель-полимерный электролит). По сравнению с литий-ионными аккумуляторами литий-полимерные аккумуляторы имеют более высокие удельную энергию и ресурс и лучшую безопасность.

Перезаряжаемые марганцево-цинковые источники тока. Первичные цилиндрические марганцево-цинковые источники тока с щелочным электролитом определенного состава, изготовленные по специальной технологии, могут электрически перезаряжаться [35 - 38]. Они характеризуются высокой удельной энергией, малым саморазрядом и невысокой стоимостью, выпускаются в герметичном исполнении, однако имеют очень малый ресурс (до 25-50 циклов), небольшую скорость разряда и наклонную разрядную кривую. Возможность перезаряда такого марганцево-цинкового источника тока отдельно оговаривается производителем.

Указанные выше аккумуляторы имеют следующие характеристики. Среднее разрядное напряжение аккумуляторов находится в широком диапазоне от 1,25В у никель-кадмиевых аккумуляторов до 3,5В у литиевых аккумуляторов. С повышением скорости разряда емкость

аккумуляторов уменьшается (см. рисунок), причем в минимальной степени у Ni-Cd и Ni-MH аккумуляторов. Емкость также снижается при понижении температуры. Наибольшее снижение емкости при низких температурах наблюдается у никель-железных аккумуляторов и минимальное снижение - у никель-кадмиевых со спеченными электродами и у свинцовых аккумуляторов. Высокую удельную мощность можно получить от никель-кадмиевых аккумуляторов, свинцовых (стартерных и герметизированных), никель-цинковых и серебряно-цинковых аккумуляторов. Невысокую удельную мощность имеют никель-железные аккумуляторы. Удельная массовая энергия минимальна у свинцовых аккумуляторов и максимальна у литиевых аккумуляторов. Наибольшую наработку имеют никель-водородные аккумуляторы, низким ресурсом характеризуются серебряно-цинковые и никель-цинковые аккумуляторы. Следует отметить, что по мере циклирования уменьшаются емкость, напряжение и соответственно удельная энергия аккумуляторов, причем скорости понижения удельной энергии у разных аккумуляторов существенно различаются. В наименьшей степени снижаются емкость и энергия при циклировании Ni-Cd аккумуляторов. Нарботка зависит от многих причин и прежде всего от глубины разряда. Наиболее высокая скорость саморазряда отмечается у никель-водородных и никель-железных аккумуляторов, наименьшая - у серебряно-кадмиевых и серебряно-цинковых аккумуляторов. К наиболее дешевым принадлежат свинцовые аккумуляторы, к наиболее дорогим - никель-водородные, серебряно-кадмиевые и серебряно-цинковые аккумуляторы.

Анализ научно-технической литературы по нагревательным элементам показал, что их применение в разрабатываемой одежде для строителей нецелесообразно вследствие большой потребляемой мощности, необходимости в большом количестве аккумуляторов, собранных в батарею, ограниченности времени работы системы нагревательный элемент + аккумуляторная батарея, недопустимости нагрева всей поверхности тела строителя. По этому для обеспечения непрерывной работы строителя в течение 8-ми часов необходимо иметь несколько комплектов аккумуляторных батарей, что невыгодно с экономической точки зрения. Кроме того, разрабатываемая электрообогреваемая одежда будет иметь большую массу, сковывая движения строителя и, снижая его работоспособность. Что

касается перегрева отдельных частей тела строителя, то это может привести к серьезным заболеваниям.

В качестве источника питания для разрабатываемой электрообогреваемой одежды наиболее подходят герметичные никель-кадмиевые аккумуляторы, которые характеризуются горизонтальной разрядной кривой, способностью действовать при низких температурах.

1.4. Анализ конструкций электрообогреваемой одежды

В данном параграфе проанализированы существующие конструкции электрообогреваемой одежды для работников различных профессий.

Применение внешнего источника тепла позволяет обеспечить соответствующее тепловое состояние человека при одновременном уменьшении массы одежды и расхода материалов на ее изготовление, повысить работоспособность человека и сократить непроизводительные затраты времени на обогрев. Электрообогреваемая одежда не должна нагревать поверхность тела человека, а лишь способствовать уменьшению его теплопотерь и поддержанию теплообмена на уровне комфортных теплоощущений в течение всего периода непрерывного пользования ею в производственных условиях. Она должна обеспечивать равномерную защиту поверхности тела человека от охлаждения, предотвращая локальный перегрев ее отдельных частей.

Электрообогреваемая одежда с токопроводящими графитированными лентами.

Большинство попыток по использованию в одежде внешних источников тепла связано с применением электроэнергии, которая может обеспечить наиболее регулируемую и равномерную подачу тепла к поверхности тела человека. Из проводников тока для изготовления одежды приемлемыми являются токопроводящие графитированные ленты, которые легко настраиваются на слой материала, имеют малую массу и большую теплоизлучающую поверхность [40-42]. На рис. 1.1 показан внешний вид электрообогреваемой одежды с токопроводящими графитированными лентами.

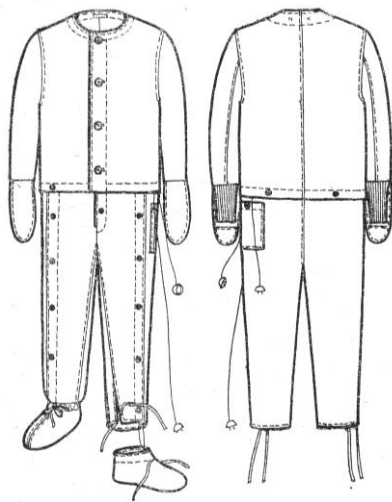


Рис.1.1 Внешний вид электрообогреваемой одежды с токопроводящими графитированными лентами.

Куртка с подогревом снабжена пятью уровнями подогрева при помощи специальной системы нагревающих ячеек, выполненных из биотермических волокон, которые встроены в спинку куртки[43-45]. Синтетические нагревающие ячейки почти не чувствуются сквозь эластичное биотермическое волокно, поэтому куртка очень удобна в носке. Длительность нагрева составляет от 2-х до 8-ми часов. В качестве источника питания применяются мощные литий-ионные аккумуляторы (3,4В / 32 А).

Куртка с подогревом изготавливается из износостойкого материала, поэтому ее можно без проблем стирать в машине при температуре до 30°C. Универсальное зарядное устройство за 4 часа полностью зарядит аккумуляторы. На рис. 1.2 показан внешний вид куртки с подогревом.



Рис. 1.2 Внешний вид куртки с подогревом

Жилет с подогревом отличается высоким качеством, практичностью и длительным сроком эксплуатации.

Такая одежда предназначена, прежде всего, для любителей походов, зимних видов спорта и путешествий. Соединив батарею со штепселем, можно управлять своим тепловым комфортом благодаря регулятору температуры [43-45]. Аккумуляторная батарея (7В; 2.2Ач) находится в специальном кармане.

Куртка изготовлена из легкой воздухопроницаемой ткани на молнии и эластичного материала по бокам. При помощи датчика можно отрегулировать температуру нагревания. На рис. 1.3. показан внешний вид жилета с подогревом



Рис. 1.3. Внешний вид жилета с подогревом.



Рис.1.4. Внешний вид майки с электрическим подогревом.



Рис.1.5. Внешний вид штанов с подогревом.

Майки с электрическим подогревом. В ткань одежды вплетены специальные полиамидные волокна, проводящие электричество [46]. Сбоку расположен небольшой карман, в который помещается ионно-литиевая батарея. Она может поддерживать тепло от двух до пяти часов, в зависимости от того, какой

из трех температурных режимов выбран. На рис. 1.4. показан внешний вид майки с электрическим подогревом.

Штаны с подогревом. Штаны с электрическим подогревом управляются с помощью пульта, который хранится в кармане.

Питание от литий-ионного аккумулятора.

На рис. 1.5 показан внешний вид штанов с подогревом [47].

Одежда с активным обогревом серии „Гелиос“. Принципиальным отличием данных изделий является то, что в качестве нагревательного элемента используются полимерные волокна, а не провода или углеродные волокна [48,49].

Одежда серии "Гелиос" включает комбинезоны с бахилами, жилеты различных модификаций, брюки, рейтузы (колготки), стельки и перчатки.



Рис. 1.6. Внешний вид одежды с активным обогревом серии „Гелиос“

Одежда предназначена для защиты работающих в условиях пониженных температур (рыбаков, геологов, обходчиков и т.д.) [48]. На рис. 1.6. показан внешний вид одежды с активным обогревом серии "Гелиос".

Комбинезон с электроподогревом серии „ГЕЛИОС“ предназначен для предохранения от переохлаждения в

условиях низких температур окружающей среды. Обеспечивает обогрев всего тела. Внутри комбинезона равномерно расположены полимерные нагревательные элементы. Электропитание автономное от аккумулятора 11В. Блок управления позволяет выбрать один из двух режимов нагрева [48,49]. Первый режим нагрева использует 50% мощности аккумуляторной батареи, а второй - 100%. Мощность, потребляемая комбинезоном – 75Вт, время непрерывной работы на 100% уровне мощности – не менее 1 часа, а на 50% уровне – не менее 1.5 часа. На рис. 1.7 показан внешний вид комбинезона с электроподогревом серии „Гелиос“.



Рис. 1.7. Внешний вид комбинезона с электроподогревом „Гелиос“.

Сохранение целостности тканевой основы и электропроводящей системы при носке изделия не гарантируется в связи с возможными механическими повреждениями в процессе эксплуатации.

Проведенный обзор научно-технической литературы показал, что в настоящее время существует ряд конструкций электрообогреваемой одежды, которые отличаются друг от друга нагревательными элементами и источниками питания.

Существующие конструкции электрообогреваемой одежды нагревают всю поверхность тела человека, что недопустимо с медицинской точки зрения. Кроме того, для обогрева они потребляют мощность от 60 до 130 Вт, что требует наличия аккумуляторных батарей большой мощности, увеличивающих массу одежды, отрицательно влияя на работоспособность человека. Время непрерывной работы системы обогрева существующей электрообогреваемой одежды на одном комплекте аккумуляторов составляет от 1 до 2-х часов и при дальнейшем использовании одежды в течение 8-ми часового рабочего дня необходимо иметь еще 4-5 комплектов аккумуляторных батарей и возможность подзарядки осевших батарей.

ВЫВОДЫ

1. Из существующих в настоящее время материалов невозможно изготовить одежду с теплоизоляционными свойствами (тепловым сопротивлением) более $1.1 \text{ (м}^2\text{К)/Вт}$. Однако и эта одежда в условиях производственной деятельности не может быть использована вследствие большой массы и толщины, ограничивающих подвижность человека и его работоспособность.

2. Использование в одежде источников тепла для повышения ее теплозащитных свойств в основном связано с применением электроэнергии, которая может обеспечить наиболее регулируемую и равномерную подачу тепла к поверхности тела человека.

3. Существующие современные системы и изделия с электрообогревом нецелесообразно использовать в разрабатываемой одежде для строителей, так как большинство из них питаются от сети переменного тока напряжением 220 В через адаптер 12В и 1,5А, что будет ограничивать свободу движений строителя в процессе производственной деятельности, а применение автономного питания от аккумуляторной батареи напряжением 12В приведет к увеличению массы одежды, отрицательно сказываясь на работоспособности строителя.

4. Применение нихромовых нагревательных элементов, электронагревательной ткани, тонкопленочных и ленточных электронагревателей в разрабатываемых вариантах одежды требует больших затрат электроэнергии и, следовательно, наличия большого количества аккумуляторов, собранных в батарею, приводя к увеличению массы одежды. Использование

электронагревательной ткани в одежде приводит к нагреву всей поверхности человеческого тела, что недопустимо с медицинской точки зрения. В качестве источника питания целесообразно выбрать аккумуляторы с меньшей массой, но с достаточно высокой мощностью для увеличения времени непрерывной работы системы обогрева разрабатываемой одежды до подзарядки аккумуляторов.

5. Разработанные различные варианты специальной одежды с использованием графитированных токопроводящих элементов, отличающихся друг от друга локализацией последних в одежде, а также их общей площадью, не нашли применения в производственной деятельности человека из-за большого расхода электроэнергии (порядка 160 Вт), ограничивающего продолжительность его пребывания в условиях пониженных температур (1-1.5 ч.). Тем же недостаткам обладает вариант специальной одежды с нихромовыми нагревателями. Использование аккумуляторных батарей для питания нагревательных элементов повышает массу одежды, а применение в этих целях сети переменного тока напряжением в 220 В не только ограничивает диапазон действия человека, но и оказывает отрицательное влияние на его здоровье.

6. Электрообогреваемая одежда не должна нагревать поверхность тела человека, а лишь способствовать уменьшению его теплопотерь и поддержанию теплообмена на уровне, обеспечивающем комфортные теплоощущения в течение всего периода непрерывного пользования ею в производственных условиях. Она должна обеспечивать равномерную защиту поверхности тела человека от охлаждения, предотвращая локальный перегрев ее отдельных участков.

ГЛАВА 2. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

2.1 Организация, порядок и методика проведения экспериментальных исследований диссертационной работы

Уменьшение массы производственной одежды с сохранением или улучшением ее теплозащитных свойств представляет собой сложную научно-техническую проблему, решение которой возможно лишь путем обобщения достижений в областях материаловедения, технологии, конструирования, теплофизики и климатологии.

Одним из способов повышения теплозащитных функций производственной одежды является применение внутреннего электрообогрева в ней.

На кафедре „Текстильная инженерия” Гюмрийского филиала Национального политехнического университета Армении ведутся работы по созданию электрообогреваемой производственной одежды. В рамках диссертационной работы поставлена задача создания четырех вариантов электрообогреваемой одежды для строителей в виде комбинезонов, отличающихся друг от друга пакетами материалов и системой обогрева, расположением нагревательных элементов, и, обеспечивающих снижение массы одежды и сохранение теплозащитных функций в течение рабочего дня.

Объектом исследования в диссертационной работе являются разработанные варианты электрообогреваемых комбинезонов для строителей.

Предметом исследования являются теплозащитные свойства этих комбинезонов.

Для создания вариантов электрообогреваемых комбинезонов были проанализированы существующие в настоящее время аналогичные конструкции, пакеты материалов для теплозащитной одежды и системы электрообогрева.

Экспериментальные исследования разработанных вариантов электрообогреваемых комбинезонов и выбор наилучшего варианта из них были проведены в переходном и холодном периодах года с 2011 по 2014г.г. в г. Гюмри республики Армения на открытой стройплощадке при температурах внешней среды от 0 до -20 °С. Относительная влажность

внешней среды в процессе испытаний изменялась в пределах 40...80%, и ее скорость в пределах 2...5м/с.

Строитель в электрообогреваемых комбинезонах в течение 4-х часов до перерыва и 4-х часов после него выполнял работы средней тяжести (перевозка груза на тачке, сборка строительных конструкций, поднятие мешков массой 50кг, землеройные работы) с энергозатратами 180...200 Вт/м². Выбор наилучшего варианта электрообогреваемого комбинезона проводился с обязательным условием снижения его массы (масса пакета + масса системы электрообогрева), улучшением ее гигиенических и теплозащитных свойств и уменьшением расхода энергии на электрообогрев и себестоимости изделия.

Для разработанных вариантов электрообогреваемых комбинезонов, были проведены экспериментальные исследования по следующей схеме:

1. С помощью тепломерных датчиков марки Extech HT30 определены местные теплотери строителя в электрообогреваемых комбинезонах при температурах внешней среды от 0 до -20 °С по методике, изложенной в работах [40,50,51] и согласно стандарту [52] Определение местных теплотерь позволило найти местоположение нагревательных элементов и избежать перегрева отдельных частей тела строителя и уменьшить расход энергии на обогрев. Местные теплотери определялись по методу дополнительной стенки [53-56]. Тепломерные датчики марки Extech HT30 помещались на различные участки тела строителя и определялись его местные теплотери. Нагревательные элементы устанавливались на тех участках электрообогреваемых комбинезонов, где теплотери наибольшие. Средневзвешенный тепловой поток определялся по следующей формуле [40,50,51,57,58],

$$Q_{св.к} = 0.0886 Q_{к.лба} + 0.034 Q_{к.тул} + 0.134 Q_{к.плеча} + 0.045 Q_{к.кисти} + 0.23 Q_{к.бедр} + 0.125 Q_{к.голени} + 0.0644 Q_{к.стопы}$$

где $Q_{к.лба}$ – теплотери с поверхности головы; $Q_{к.тул}$ – теплотери с поверхности туловища; $Q_{к.плеча}$ – теплотери с поверхности плеча; $Q_{к.кисти}$ – теплотери с поверхности кисти; $Q_{к.бедр}$ – теплотери с поверхности бедра; $Q_{к.голени}$ – теплотери с поверхности голени; $Q_{к.стопы}$ – теплотери с поверхности стопы.

2. С помощью проградуированных терморезисторов марки ntc [59], устанавливаемых на 7-ми участках тела строителя, исследованы динамика изменения температуры отдельных участках тела строителя в электрообогреваемых комбинезонах и температуры на поверхностях отдельных слоев нательного белья и комбинезона при температурах внешней среды от 0 до -20°C по методике, изложенной в работах [40,50,51] и согласно стандарту [60]. Средневзвешенная температура тела строителя определялась по формуле [40,54-56,68],

$$t_{св.к} = 0.0886 t_{к.лба} + 0.034 t_{к.тул} + 0.134 t_{к.плеча} + 0.045 t_{к.кисти} + 0.23 t_{к.бедр} + 0.125 t_{к.голен} + 0.0644 t_{к.стопы}$$

где $t_{к.лба}$ – температура поверхности головы; $t_{к.тул}$ – температура поверхности туловища; $t_{к.плеча}$ – температура поверхности плеча; $t_{к.кисти}$ – температура поверхности кисти; $t_{к.бедр}$ – температура поверхности бедра; $t_{к.голен}$ – температура поверхности голени; $t_{к.стопы}$ – температура поверхности стопы.

Для измерения температур на различных участках поверхности тела строителя и на поверхностях слоев нательного белья и электрообогреваемых комбинезонов терморезисторы устанавливались в пяти точках каждого участка. На рис 2.1 показаны места установок терморезисторов

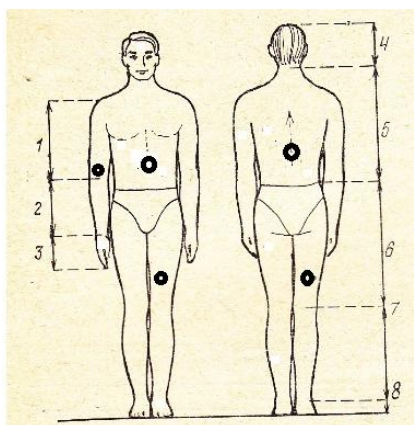


Рис. 2.1. Места установки терморезисторов в электрообогреваемом комбинезоне

после начала его работы.

Для регулирования температуры пододежного пространства на подкладке комбинезонов в области туловища устанавливался щуп терморегулятора марки ХН-W 1207

[61], находящегося в левом верхнем кармане комбинезона. В испытаниях фиксировались 3 положения терморегулятора, соответствующие температурам пододежного пространства 32°C; 30°C и 28°C.

Регистрация сопротивлений терморезисторов в зависимости от температуры тела строителя и температуры между слоями нательного белья и комбинезонов производилась цифровым омметром марки VOЗvc, с точностью измерений 1,5% [62,63].

Относительная влажность воздуха регистрировалась психрометром марки RH350 с точностью измерений 3 %.

3. Продолжительность работы аккумуляторной батареи, питающей нагревательные элементы, исследовалась по степени ее разрядки, т.е. изменению напряжения.

Через каждые 30 минут фиксировалось напряжение на клеммах аккумуляторной батареи при помощи цифрового вольтметра марки EK-SVALOO13NW-100V-ESOA с точностью измерений 0.01В.

Если напряжение аккумуляторной батареи понижалось от первоначального значения 14.4 В до значения ниже 11 В, то проводилась подзарядка аккумуляторной батареи во время обеденного перерыва строителя или устанавливался новый комплект заряженной батареи для работы в течение последующих 4 ч (до окончания рабочей смены).

Исследование продолжительности работы аккумуляторной батареи во всем диапазоне изменения температуры внешней среды проводилось при трех фиксированных значениях температуры терморегулятора: 28, 30, 32 °С. Для каждой отрицательной температуры внешней среды определялось оптимальное значение температуры терморегулятора исходя из условия наиболее экономного использования аккумуляторной батареи.

4. Проведено сравнение существующего электрообогреваемого комбинезона фирмы „Гелиос” с наилучшим вариантом разработанного электрообогреваемого комбинезона 3б по основным показателям (масса, теплозащитные и гигиенические свойства, расход энергии на обогрев, продолжительность расхода энергии на обогрев, продолжительность непрерывной работы на одном комплекте аккумуляторов) согласно методике, изложенной в работе [64].

В диссертационной работе также проведены теоретические исследования – разработаны математические модели, позволяющие рассчитать нестационарный процесс

переноса теплоты через многослойный пакет материалов трех разработанных вариантов электрообогреваемой одежды, базирующийся на дифференциальном уравнении теплопроводности [53-56].

Опытные варианты электрообогреваемых комбинезонов были изготовлены в ООО Найтекс (г. Маралик, республика Армения) и после испытаний были рекомендованы к запуску в производство.

Так как слой электрообогреваемого комбинезона, граничащий с внешней средой, является дублированной тканью, строение которой не позволяет внешней влаге проникать внутрь комбинезона, но позволяет водяным парам, образующимся при работе строителя, выходить во внешнюю среду, то влажность внешней среды оказывает незначительное воздействие на теплофизические характеристики материалов отдельных слоев белья и комбинезона и учет влажности в экспериментах не проводился.

2.2. Градуировка терморезисторов для экспериментальных исследований разработанных вариантов электрообогреваемого комбинезона

Для измерения температур в различных точках поверхности тела строителя и на поверхностях слоев электрообогреваемого комбинезона использовались терморезисторы типа ntc (10 кОм). Соединительные провода терморезисторов на всем протяжении были тщательно электрически изолированы при помощи фарфоровых бус.

Для измерения температур на 7-ми участках различных поверхностей тела строителя и на поверхностях слоев белья и электрообогреваемого комбинезона терморезисторы устанавливали в пяти точках каждого участка. На рис 2.1 показаны места установки терморезисторов в электрообогреваемом комбинезоне. По показаниям пяти терморезисторов определялась средняя температура поверхности как среднеарифметическая величина показаний. Градуировка терморезисторов при положительных ($5^{\circ}\text{C} \dots 95^{\circ}\text{C}$) и отрицательных ($-5^{\circ}\text{C} \dots -20^{\circ}\text{C}$) температурах проводилась по общепринятой методике [65]. Терморезистор помещался в сосуд с водой, который находился на электрической плитке. По соседству с терморезистором в воду на тот же уровень опускался ртутный стеклянный лабораторный

термометр типа ТП-М5 [66] с интервалом измерения температур от 0 до 160°C и точностью измерения $\pm 0,5$ °C.

Электрическое сопротивление терморезистора регистрировалось при помощи цифрового омметра марки Щ 306 [67]. Вода нагревалась на электрической плитке от 0 °C до 95 °C, а затем при выключенной электрической плитке охлаждалась от 95 °C до температуры окружающей среды (5 °C). При помощи ртутного термометра измерялась температура воды на участке и в тот же момент регистрировалось электрическое сопротивление терморезистора на омметре.

Зависимость между электрическим сопротивлением терморезистора и температурой воды приведена в таблице 2.1, а градуировочный график показан на рис. 2.2, причем кривая нагревания воды от 5 °C до 95°C совпадает с кривой ее охлаждения от температуры 95°C до температуры окружающей среды, равной 5°C.

Как видно из градуировочного графика, зависимость между электрическим сопротивлением терморезистора и температурой воды близка к экспоненциальной. Путем математической обработки табличных данных получена следующая градуировочная зависимость для терморезисторов типа ntc при положительных температурах от 5°C до 95°C:

$$t = -26,01 \ln (R) + 83,58^{\circ}C .$$

При отрицательных температурах от -5 °C -20°C градуировка терморезисторов производилась в холодильной камере, где одновременно фиксировались значения термометра и показания омметра.

Зависимость между электрическим сопротивлением терморезистора и показанием термометра, установленного в холодильной камере, приведена в таб. 2.2, а градуировочный график при отрицательных температурах показан на рис. 2.3.

Путем математической обработки табличных данных получена следующая градуировочная зависимость для терморезисторов типа ntc. при отрицательных температурах от - 5°C до -20°C $t = -0.536R + 27.37^{\circ}C$ [68].

Таблица 2.1.

Зависимость между электрическим сопротивлением терморезистора и температурой воды

Режимы $t, ^\circ\text{C}$	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95
Нагревание воды; R, кОм	21.1	19. 5	14. 5	12	9	7.3	6.5	5.23	3.8	3.5	3	2.4	1.97	1.62	1.38	1.16	0.98	0.86	0.73
Охлаждение воды; R, кОм	-	-	-	12. 2	9.1	7.2 9	6.5 1	5.2	3.9	3.5	2.85	2.3	1.94	1.61	1.39	1.16	0.98 5	0.86	0.7 3

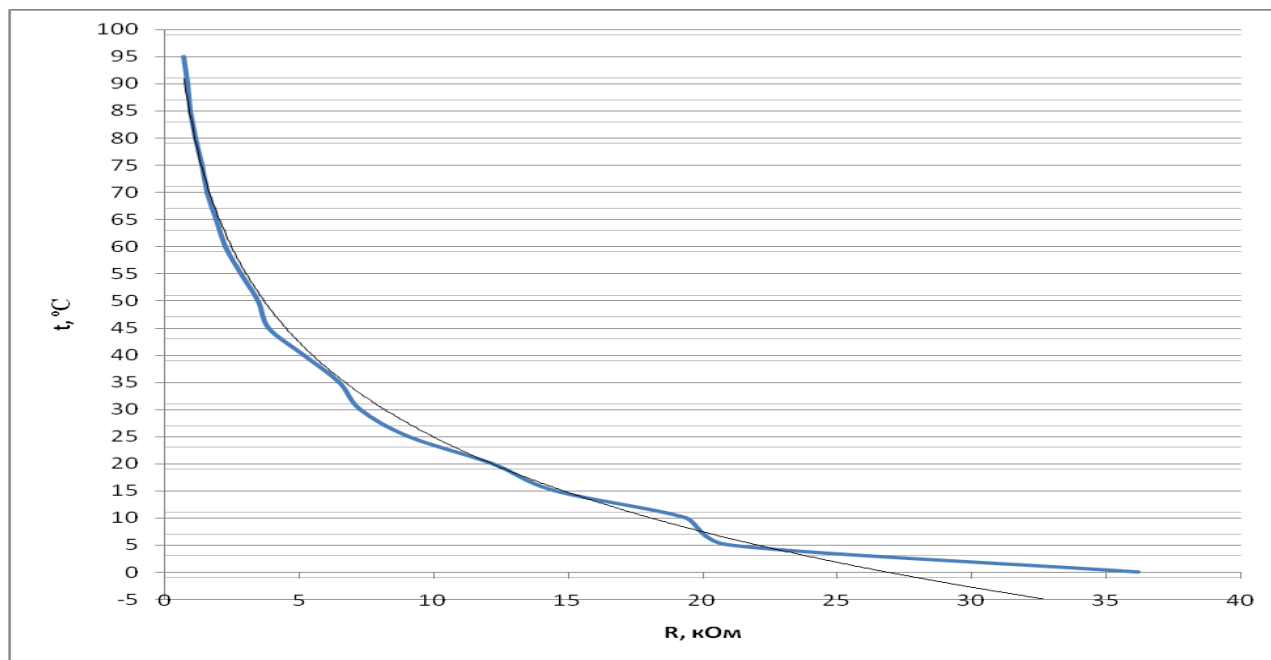


Рис. 2.2. Аппроксимация градуировочного графика в виде логарифмической функции.

Таблица 2.2.

Зависимость между электрическим сопротивлением терморезистора и показанием термометра

Режимы $t, ^\circ\text{C}$	-5	-10	-15	-20
Охлаждение в холодильной камере ; R, кОм	59.7	70.4	79.5	87.6
Нагревание в воздушной среде; R, кОм	59.4	70	79.3	87.1

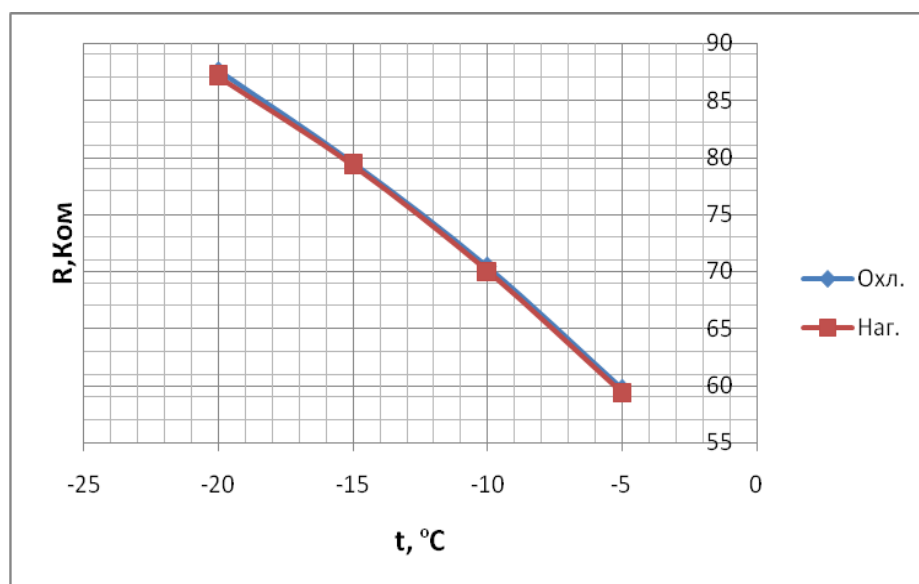


Рис. 2.3. Градуировочный график терморезистора при отрицательных температурах внешней среды.

ВЫВОДЫ

1. Разработана методика проведения экспериментальных испытаний электрообогреваемых комбинезонов при различных температурах внешней среды, которая включает методику изучения продолжительности работы аккумуляторной батареи в течение 8-ми часовой рабочей смены строителя, методику исследования динамики изменения температуры тела и местных тепловых потерь с его поверхности, методику изучения

температуры на поверхности комбинезона и температур между его отдельными слоями. По каждой разработанной методике приведены порядок и контрольно-измерительные приборы для ее реализации.

2. Приведена методика градуировки терморезисторов типа ntc, предназначенных для измерения температуры различных участков тела строителя и температуры между слоями электрообогреваемого комбинезона, построен график зависимости электрического сопротивления терморезисторов от положительных и отрицательных температур и получены градуировочные зависимости.

ГЛАВА 3. РАЗРАБОТКА ВАРИАНТОВ КОНСТРУКЦИЙ ЭЛЕКТРООБОГРЕВАЕМОГО КОМБИНЕЗОНА ДЛЯ СТРОИТЕЛЕЙ

3.1 Роль и значение электрообогреваемой производственной одежды

Известно, что северные районы Армении характеризуются достаточно низкими температурами и сильными ветрами в переходном и холодном периодах года. Создание специальной теплозащитной одежды для строителей, работающих на открытом воздухе для этих районов, представляет собой важную задачу, решение которой возможно только на основе комплексного рассмотрения данных физиологии, гигиены, климатологии, теплофизики, текстильного материаловедения и проектирования одежды.

Работа строителей и сотрудников, связанных с выполнением различного рода строительного-монтажных работ, чаще всего происходит под открытым небом, либо иных неблагоприятных условиях. Климатические осадки, перепады температур, пыль и грязь, вот те агрессивные факторы, с которыми строителям приходится сталкиваться ежедневно. И от того, насколько эффективно рабочий будет защищен от таких неблагоприятных условий, будет напрямую зависеть его комфорт и работоспособность.

Защитить здоровья и жизни строителя от опасных факторов окружающей среды, а также сделать их работу более комфортной и безопасной, призваны индивидуальные средства защиты и специальная одежда.

В то же время специальная одежда должна быть максимально удобной и комфортной, строитель не должен чувствовать себя стесненным в спецодежде, она не должна сковывать его движений. При работе на открытом воздухе, а также при работе в холодное время года сотрудники должны носить утепленную специальную одежду [69-72].

Проведенные исследования показали, что большими теплозащитными свойствами обладает комплект электрообогреваемой одежды, в который входит комбинезон. Тепловое сопротивление электрообогреваемой куртки и брюк составляет 94% по отношению к теплозащитным свойствам комбинезона [50,57,58].

Анализ современной научно-технической литературы показал, что существующие конструкции комбинезонов для строителей имеют довольно большую массу, что сковывает

движения строителей, ограничивая их работоспособность. Кроме того, комбинезон имеет достаточно большую цену вследствие наличия в его конструкции натурального меха. Имеющиеся конструкции электрообогреваемой одежды питаются в основном от сети переменного тока, что ограничивает протяженность рабочей зоны вследствие наличия соединительных проводов между электронагревательной системой одежды и источником питания. Конструкции электрообогреваемой одежды, работающие от источников постоянного тока, не могут функционировать продолжительное время вследствие затраты большой мощности на нагрев электросистемы. Максимальное время непрерывной работы электрообогреваемой одежды составляет 1-1.5 ч. Следовательно, уменьшение массы одежды с одновременным снижением ее цены являются актуальными задачами.

В рамках диссертационной работы нами спроектированы, изготовлены и испытаны следующие варианты электрообогреваемой одежды для строителей, работающих в северных районах республики Армения:

1. электрообогреваемый комбинезон 1 с нихромовыми нагревательными элементами;
2. электрообогреваемый комбинезон 2 с токопроводящими графититированными лентами
3. электрообогреваемый комбинезон 3(а) с электрическими резисторами, расположенными в соответствии с местными теплотерями строителя в передней и задней частях туловища;
4. электрообогреваемый комбинезон 3(б) с электрическими резисторами, расположенными в соответствии с местными теплотерями строителя в передней и задней частях туловища, а также на голени левой и правой ног.

Сравнение предложенных вариантов комбинезонов по потребляемой мощности на электрообогрев, массе, времени непрерывной работы с одним комплектом аккумуляторов и средневзвешенной температуре тела позволил выбрать наилучший вариант комбинезона.

3.2 Выбор материалов для вариантов электрообогреваемого комбинезона

Качество электрообогреваемого комбинезона в наибольшей степени зависит от качества материалов ее отдельных слоев, влияющих на комфортность, функциональность и защищенность от вредных факторов человека, носящего комбинезон [70-72].

Приведем краткую характеристику выбранных материалов для вариантов электрообогреваемых комбинезонов 1, 2, 3а и 3б. Выбор материалов для вариантов электрообогреваемых комбинезонов проводился исключительно по их распространенности в теплозащитной одежде, сравнительно малой себестоимости и массе, а также сравнительно большим тепловым сопротивлением. Электрообогреваемый комбинезон 1 имеет 4 слоя: сатин (подкладка), синтепон, техническая ткань (саржа) и дублированная капроновая ткань. Комбинезон 3а и 3б тоже имеет 4 слоя: дубль-сатин (подкладка), синтепон, бязь, дублированная поливинилхлоридная ткань. В качестве материала наружного слоя выбрана дублированная поливинилхлоридная (капроновая) ткань марки 600Д х 300 Д/ПВХ с рисунком «Хаки» (100% полиэстер) [73]. На рис. 3.1 показан внешний вид дублированной поливинилхлоридной ткани. Благодаря внутреннему капиллярному строению дублированная



Рис. 3.1 Внешний вид дублированной поливинилхлоридной ткани.

поливинилхлоридная ткань легко выводит водяные пары и влагу из пододежного пространства, одновременно препятствуя прониканию влаги из окружающей внешней среды.

В качестве прокладочных материалов для электрообогреваемых комбинезонов 3а и 3б выбраны бязь и двухслойный синтепон, а для

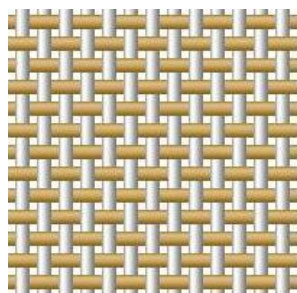


Рис. 3.2 Внешний вид бязевого переплетения ниток.

комбинезона 1- саржа.

Бязь - хлопчатобумажная плотная ткань полотняного переплетения. Она состоит из поперечных и продольных нитей, расположенных под углом 90° друг к другу [74-77]. Бязевое переплетение ниток представлено на рисунке

3.2. Выбор бязи обусловлен ее высокой

воздухопроницаемостью, большим сопротивлением истиранию, гигиеничностью, экологической чистотой, легкостью, способностью длительно сохранять яркость рисунка, низкой сминаемостью, способностью сохранять внешний вид.

Синтепон – нетканое синтетическое полотно, состоящее из волокон и имеющее объемную структуру. Синтепон имеет равномерную толщину на всей протяженности полотна и дает небольшую, но равномерную усадку [76-80].

Прокладка из синтепона отлично защищает от холода в любую погоду, так как синтепон хорошо удерживает тепло, не впитывает влагу и сохраняет свою форму.

Использование синтепона в качестве прокладочного материала обусловлено тем, что он достаточно легкий, объемный, упругий, высокоэластичный, обладает хорошими теплоудерживающими свойствами, в нем не заводится моль, пылевые клещи и плесневые грибки, пригоден к стирке в домашних условиях, но предпочтительна химчистка, способен восстанавливать форму и объем, экологически безопасен [77 - 80].

В качестве подкладочного материала для разработанных электрообогреваемых комбинезонов 3а и 3б выбран дубль-сатин, а для комбинезона 1- сатин.

Дубль сатин — полушёлковая ткань из вискозного шёлка в основе и штапельной или хлопчатобумажной пряжи в утке [77,81-83]. Имеет гладкую блестящую лицевую поверхность и достаточно высокую прочность, чем и обусловлен его выбор.

Приведем краткую характеристику выбранных материалов для электрообогреваемого комбинезона 2. Разработанный вариант электрообогреваемого комбинезона 2 имеет пять слоев: ватин, сатин, шерстяная ткань, шинельное сукно, дубль-сатин.

В качестве материала наружного слоя выбрано шинельное сукно. Шинельное сукно представляет собой натуральное грубо-короткошерстное сырье. Выбор шинельного сукна обусловлен его легким весом, минимальными тепловыми потерями из-за низкой теплопроводности шерсти, ветронепроницаемостью, непромокаемостью, негорючестью, долговечностью.

В качестве прокладочных материалов выбраны: ватин, сатин, шерстяная ткань.

Ватин – трикотажное или нетканое полотно из хлопчатобумажной, шерстяной или полшерстяной пряжи с начесом [77,81,83]. Выбор ватина обусловлен его высокой

воздухопроницаемостью, экологичностью, гигроскопичностью и отличными теплоизоляционными свойствами.

Шерстяная ткань содержит 70% волокон шерсти. Введение синтетических волокон повышает прочность и износостойкость тканей, уменьшает усадку.

Выбор шерстяной ткани обусловлен высокой упругостью и малой сминаемостью, хорошей формоустойчивостью и высокими теплозащитными свойствами [75,81].

Сатин – хлопчатобумажная ткань, имеющая сравнительно низкую себестоимость, достаточную прочность, износостойкость, легкость и воздухопроницаемость.

В качестве подкладки выбран дубль-сатин [75].

3.3 Описание электрообогреваемого комбинезона 1

Известно, что северные районы Армении характеризуются достаточно низкими температурами и сильными ветрами в переходном и холодном периодах года. Создание теплозащитной одежды для строителей, работающих на открытом воздухе для этих районов, представляет собой актуальную задачу, решение которой возможно только на основе комплексного рассмотрения данных физиологии, гигиены, климатологии, теплофизики, текстильного материаловедения и проектирования одежды.

Таким образом, теплозащитная одежда для строителей по своим теплофизическим свойствам должна соответствовать реальным условиям ее эксплуатации и обеспечивать нормальную жизнедеятельность и работоспособность. Такая одежда, кроме высоких теплозащитных свойств, должна иметь малую массу, низкую воздухопроницаемость и достаточную влажностепроводность для обеспечения влагообмена с внешней средой. Одним из путей создания легкой теплозащитной одежды для строителей является применение внутреннего электрообогрева для обеспечения нормальной теплоизоляции организма человека от пониженных температур внешней среды. Предлагаемая теплозащитная одежда для строителей представляет собой комбинезон, состоящий из следующих четырех слоев, нашедших широкое применение в одежде для защиты от холода.

1 - ый слой – ткань капроновая дублированная, толщиной 0,17 мм;

2 - ой слой – техническая ткань „саржа”, толщиной 0,39 мм;

3 - ий слой – синтепон (2 слоя), с общей толщиной 10 мм;

4 - ый слой – подкладочная ткань „сатин”, толщиной 0,12 мм.

Предлагаемый комбинезон надевается на зимний комплект нательного белья. Наименования слоев одежды, и их теплопроводность, воздухопроницаемость и толщина приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1

Наименования слоев комбинезона, их теплопроводность, воздухопроницаемость и толщина

№	Наименование слоя	Толщина слоя, $\times 10^{-3}$ м	Теплопроводность Вт/(м . к)	Воздухопроницаемость $\text{дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$
1	2	3	4	5
1	Бельевая ткань	0.60	0.050	90
2	Фуфайка	0.95	0.050	90
3	Сатин	0.12	0.048	90
4	Синтепон(2 слоя)	10.00	0.030	100
5	Техническая ткань „саржа”	0.39	0.049	69
6	Дублированная поливинилхлоридная (капроновая) ткань	0.17	0.037	8

На верхнюю поверхность синтепона, граничающую с подкладочным материалом комбинезона, наклеиваются четыре круга из стекловолоконной технической ткани в передней и четыре - в задней части комбинезона (рис. 3.3).

На каждый круг прикрепляются бусины, сквозь отверстия в которых прокладывается нихромовая проволока, образуя спиральный нагревательный элемент.

Таким образом, система электрообогрева комбинезона состоит из восьми спиральных нагревательных элементов, собранных в электрическую цепь.

На рис. 3.4 показано месторасположение спиральных нагревательных элементов в передней и задней частях комбинезона. Спиральные нагревательные элементы на концах

имеют штекеры, позволяющие легко заменить вышедший из строя нагревательный элемент.



Рис. 3.3 Схема установки нихромовых спиральных нагревателей в комбинезоне

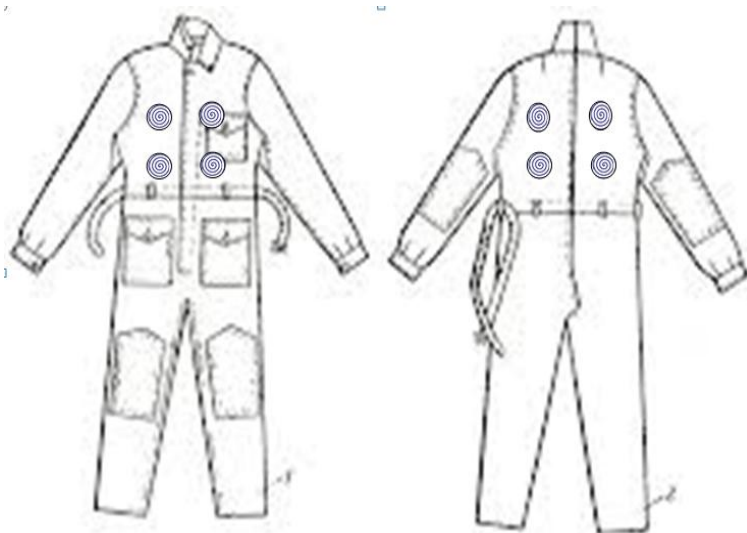


Рис. 3.4 Место расположение спиральных нагревательных элементов в электрообогреваемом комбинезоне

В качестве источника питания используются аккумуляторные батареи, которые подключаются к зарядочному устройству во время обеденного перерыва строителя.

Произведем расчет системы электрообогрева комбинезона, принимая, что нихромовая проволока для каждого

нагревательного элемента имеет диаметр $d = 0,25 \cdot 10^{-3} \text{ м}$, длину $l = 0,25 \text{ м}$, удельное сопротивление $\rho = 111 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$

Электрическое сопротивление спирального нагревательного элемента составляет:

$$R = \rho \cdot \frac{l}{S} = 111 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{0,25}{0,0491} \cdot 10^{-6} = 5,652 \text{ Ом}$$

где $S = \frac{\pi d^2}{4} = 3,14 \cdot (0,25 \cdot 10^{-3})^2 = 0,0491 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$ площадь поперечного сечения нихромовой проволоки.

На рис. 3.5. приведена схема подключения спиральных нагревательных элементов к аккумуляторной батарее (АВ).

Четыре спиральных нагревательных элемента в передней и задней частях комбинезона соединены параллельно, а друг к другу - последовательно. Для измерения температуры воздушной среды между синтепоном и подкладочным материалом использован термометр ртутный контактный (ТРК).

Когда после подключения аккумуляторной батареи температура среды, повысившись, достигает 40°C , контакты термометра замкнутся ртутным столбиком и катушка электромагнитного реле окажется под напряжением. В результате разомкнется контакт электромагнитного реле ($K_{эр}$) и спиральные нагревательные элементы будут обесточены. При понижении температуры среды до $36,5^{\circ}\text{C}$ контакты термометра разомкнутся, реле обесточится, контакт реле замкнется и вновь начнется нагрев.

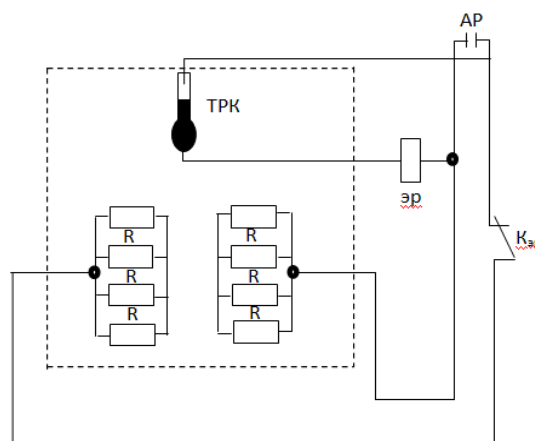


Рис. 3.5. Схема подключения спиральных нагревательных элементов к аккумуляторной батарее

Определим общее сопротивление ($R_{общ}$) цепи спиральных нагревательных элементов.

$$R_{общ} = \frac{R}{4} + \frac{R}{4} = \frac{R}{2} = \frac{5,652}{2} = 2,826 \text{ Ом}$$

Если напряжение на клеммах аккумуляторной батареи составляет $U = 6 \text{ В}$ то мощность

электрической цепи составит:
$$P = \frac{U^2}{R_{общ}} = \frac{6^2}{2,826} = 12,74 \text{ Вт}$$

Определим количество теплоты, которое выделяется спиральными нагревательными элементами для повышения температуры среды между синтепоном и подкладочным материалом от значения $t_1 = 36,5^{\circ}\text{C}$ до значения $t_2 = 40^{\circ}\text{C}$.

$$Q = m \cdot c \cdot (t_2 - t_1) = 0,21 \cdot 1500 \cdot (40 - 36,5) = 1102,5 \text{ Дж}$$

где $m = 0,21$ кг – средняя масса материалов комбинезона и нательного белья в области спины и туловища строителя; $C = 1500 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$ - средняя массовая теплоемкость материалов комбинезона и нательного белья; $t_1 = 36,5$ °С- средняя температура тела строителя; $t_2 = 40$ °С- температура на наружной поверхности синтепона, на которой расположены спиральные нагревательные элементы (при установившемся тепловом режиме эта температура примерно равна температуре среды между синтепоном и подкладочным материалом).

Определим время прогрева спиральных электронагревательных элементов до требуемой температуры

$$\tau = \frac{Q}{P \cdot \eta} = \frac{1102,5}{12,74 \cdot 0,85} = 101,81 \text{ с}$$

где $\eta = 0,85$ коэффициент полезного действия электрической цепи.

Сила тока в электрической цепи составит: $I = \frac{P}{U} = \frac{12,74}{6} \approx 2,12 \text{ А}$

Проведенные эксперименты и расчеты показывают, что система электрообогрева комбинезона предназначена только для компенсации тепловых потерь с поверхности тела строителя, а не для перегрева его отдельных частей. Система электрообогрева позволяет облегчить конструкцию комбинезона и обеспечить большую свободу движений строителя.

Однако нихромовая проволока диаметром 0.25мм очень тонкая и может легко оборваться при движениях строителя. Использование проволоки диаметром 0.5мм приводит к увеличению потребляемой мощности от аккумуляторных батарей примерно в 4 раза (~50 Вт).

3.4 Описание электрообогреваемого комбинезона 2

Существующее ограничение в создании одежды с высокими теплозащитными свойствами не позволяет защитить организм человека от охлаждения при воздействии на него особо низких температур, тем более если он вынужден длительное время находиться в этих условиях. Имеющиеся литературные данные показывают, что из применяемых в

настоящее время материалов практически нельзя изготовить одежду с суммарным термическим сопротивлением, превышающим $1,1(\text{м}^2\text{К})/\text{Вт}$. Однако и эта одежда в условиях производственной деятельности не может быть использована вследствие больших массы и толщины, ограничивающих подвижность человека и его работоспособность. Поэтому разработка способов внутреннего электрообогрева и конструкций производственной одежды, позволяющей обеспечить соответствующее тепловое состояние человека при одновременном уменьшении массы одежды и расхода материалов, представляет собой актуальную задачу.

Электрообогреваемый комбинезон 2 состоит из следующих слоев, считая от тела человека: подкладочной ткани, костюмной шерстяной ткани (бостон), прокладочной ткани, полушерстяного трикотажного ватина и шинельного сукно.

На тело строителя под комбинезон 2 надевается фуфайка из бельевой ткани (байка) и сорочка. Наименования слоев одежды, одеваемой на тело человека, с указанием толщин, теплопроводности и воздухопроницаемости ее отдельных слоев проведены в табл. 5.1.

Электрообогрев комбинезона 2 осуществляется эластичными электронагревателями или токопроводящими графитированными лентами, которые закрепляются на слое полушерстяного трикотажного ватина или настрачиваются на этот слой. В качестве источников питания используются аккумуляторы типа GP, устанавливаемые в боковых карманах комбинезона 2. Во время перерыва строителя разряженные аккумуляторы заменяются на новые. Однако вследствие того, что системой электрообогрева комбинезона потребляется мощность от 35 до 80 Вт, то требуется большое количество аккумуляторов, приводящих к резкому увеличению его массы и снижению работоспособности строителя. Кроме того, в комбинезоне полностью обогревается как передняя, так и задняя части тела строителя, вызывая перегрев одной части и недогрев – другой. Это может привести к серьезным заболеваниям строителя.

Для регулирования температуры пододежного пространства используется терморегулятор типа ХН-W1207, устанавливаемый в верхнем левом кармане передней части комбинезона 2.

3.5 Описание и характеристика электрообогреваемого комбинезона 3.

Анализ современной научно-технической литературы показал, что существующие конструкции комбинезонов для строителей имеют довольно большую массу, что сковывает движения строителей, ограничивая их работоспособность. Кроме того, комбинезон имеет достаточно большую себестоимость вследствие наличия в его конструкции натурального меха. Имеющиеся конструкции электрообогреваемой одежды питаются в основном от сети переменного тока, что ограничивает протяженность рабочей зоны вследствие наличия соединительных проводов между электронагревательной системой одежды и источником питания. Конструкции электрообогреваемой одежды, работающие от источников постоянного тока, не могут функционировать продолжительное время вследствие затраты большой мощности на нагрев электросистемы. Максимальное время непрерывной работы электрообогреваемой одежды составляет 1-1.5 ч. Следовательно, уменьшение массы одежды с одновременным снижением ее цены и повышением теплозащитных свойств являются актуальными задачами.

Разработанный электрообогреваемый комбинезон 3 по всему периметру имеет следующую конструкцию.

1. I слой, граничащий с внешней средой - ткань дублированная поливинилхлоридная толщиной 0.17 мм ,

2. II слой – бязь толщиной 0.39мм,

3. III слой - двухслойный синтепон общей толщиной 10мм,

4. IV слой, граничащий с нательным бельем строителя - дубль-сатин толщиной 0.18мм.

В качестве нательного белья служат майка с короткими рукавами из хлопчатобумажной ткани толщиной 0,6мм, файка с длинными рукавами из хлопчатобумажной ткани с начесом толщиной 0,95мм. трусы из хлопчатобумажной ткани толщиной 0,6мм и колготки из хлопчатобумажной ткани с начесом толщиной 0.95мм. На ноги надеваются носки из хлопчатобумажной ткани толщиной 2,5мм и зимние полуботинки. На руки надеваются рукавицы из хлопчатобумажной ткани, покрытой полиэстером на рабочей поверхности ладони строителя толщиной 1,8мм. На голову надевается вязаная

шапка из шерсти, толщиной 2,6 мм. Наименования слоев одежды, теплопроводность, воздухопроницаемость и их толщины приведены в таблице 3.2.

Таблице 3.2.

Наименование слоев комбинезона, их теплопроводность, воздухопроницаемость и толщина

№	Наименование слоя	Толщина слоя, $\times 10^{-3}$ м	Теплопроводность, Вт/(м · К)	Воздухопроницаемость $\text{дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$
1	2	3	4	5
1	Бельевая ткань (байка)	0.60	0.050	90
2	Фуфайка	0.95	0.050	90
3	Дубль сатин (подкладка)	0.18	0.048	90
4	Синтепон (2 слоя)	10.00	0.030	100
5	Бязь	0.39	0.049	70
6	Дублированная поливинилхлоридная (капроновая) ткань	0.17	0.037	8

На рис. 3.6. приведен общий вид комбинезона спереди и сзади, а на рис. 3.7. - четырехслойная конструкция комбинезона. Для электрообогрева разработанного комбинезона 3 из проводников электрического тока были проанализированы нихромовая проволоки, нихромовая лента, инфракрасные пленки, низковольтные нагревательные элементы, электронагревательная ткань, углеродные волокна, тонкопленочные и ленточные электронагреватели, электрические спирали, токопроводящие графитированные ленты, а также электрические резисторы. Как показали проведенные испытания, с точки зрения экономии энергии, наиболее приемлемыми для электрообогрева являются электрические резисторы типа МЛТ (экономия электроэнергии примерно в (1.2: 1.3) раза).



Рис. 3.6. Общий вид комбинезона спереди и сзади.

Система электрообогрева комбинезона 3 для строителей представляет собой восемь пакетов А, В, С, D, E, F, G, H составленных из электрических резисторов марки МЛТ. Сопротивление каждого резистора $R=3\text{Om}$. На рисунке 3.8.

показаны печатные платы спереди и сзади. Разработаны два варианта комбинезона 3.



Рис. 3.8. Внешний вид плат спереди и сзади.

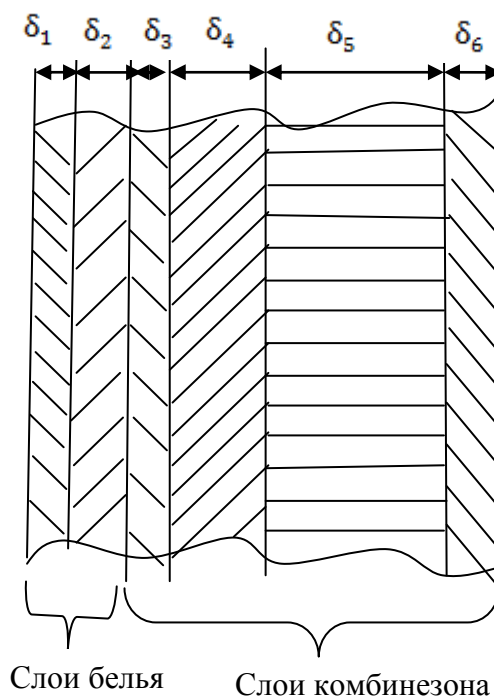


Рис. 3.7. Слои комбинезона 3а и 3б

В первом варианте четыре пакета А, В, С и D устанавливаются в особых мешочках из стекловолокна с прорезями и закрепляются на слое синтепона, граничащем с подкладкой комбинезона в передней части туловища. Пакеты, E, F, G и H в мешочках закрепляются на слое синтепона, граничащем с подкладкой комбинезона в задней части туловища.

Во втором варианте три пакета А, В, С устанавливаются в особых мешочках с прорезями и закрепляются на слое синтепона, граничащем с подкладкой комбинезона в передней части туловища. Пакеты D, E, F в мешочках закрепляются на слое синтепона граничащем с подкладкой комбинезона в задней части туловища. Пакеты G и H в мешочках закрепляются на слое синтепона, граничащем с подкладкой комбинезона в области голени ног строителя.

Каждый пакет составлен из 12-ти резисторов, соединенных последовательно. Поэтому сопротивление каждого пакета

$$R_A = R_B = R_C = R_D = R_E = R_F = R_G = R_H = 3 \cdot 12 = 36 \text{ Ом} .$$

Подключение отдельных пакетов в электрическую цепь проводится при помощи специальных штеккеров, которые позволяют заменить вышедший из строя пакет. Для замены пакета расстегивается застежка – молния на подкладке, вышедший из строя пакет отсоединяется от штеккера, вынимается из мешочка и заменяется новым. Пакеты резисторов А и В, С и D, Е и F, G и H соединяются попарно последовательно, так что: $R_{AB} = R_{CD} = R_{EF} = R_{GH} = 2 \times 36 = 72 \text{ Ом}$, а R_{AB} , R_{CD} , R_{EF} и R_{GH} подключаются в электрическую цепь параллельно. Общее сопротивление электрической цепи составит:

$$R_{\text{общ}} = R_{AB} / 4 = 72 / 4 = 18 \text{ Ом}.$$

Питание электрических резисторов осуществляется 12-тью аккумуляторами постоянного тока типа GP, рассчитанными на силу тока 2700 мА и напряжение 1.2В. Аккумуляторы подключаются друг с другом последовательно, поэтому:

$$U_{\text{общ}} = 12 \cdot 1.2 = 14.4 \text{ В}.$$

Сила тока в электрической цепи по закону Ома составит:

$$I = U_{\text{общ}} / R_{\text{общ}} = 14.4 / 18 = 0.8 \text{ А}$$

Для установки требуемой температуры в пододежном пространстве в электрическую цепь включен терморегулятор типа ХН-W1207.

Температура пододежного пространства может изменяться в пределах 10...50 °С в зависимости от температуры внешней среды и теплового состояния человека. Схема подключения пакетов электрических резисторов и терморегулятора в электрическую цепь в варианте комбинезона 3б приведена на рис. 3.9.

Никель-кадмиевые аккумуляторы типа GP устанавливаются в боковых карманах комбинезона по шесть с каждой стороны и во время перерыва строителя могут подключаться к зарядному устройству для подзарядки. На рис. 3.10. показаны аккумуляторы типа GP и универсальное зарядное устройства типа NEW STAR NA-830.

Терморегулятор с индикатором типа ХН-W1207 устанавливается в верхнем левом кармане передней части комбинезона и имеет клавишу для установки требуемой температуры пододежного пространства.

На рис. 3.11. показан внешний вид терморегулятора и его месторасположение.

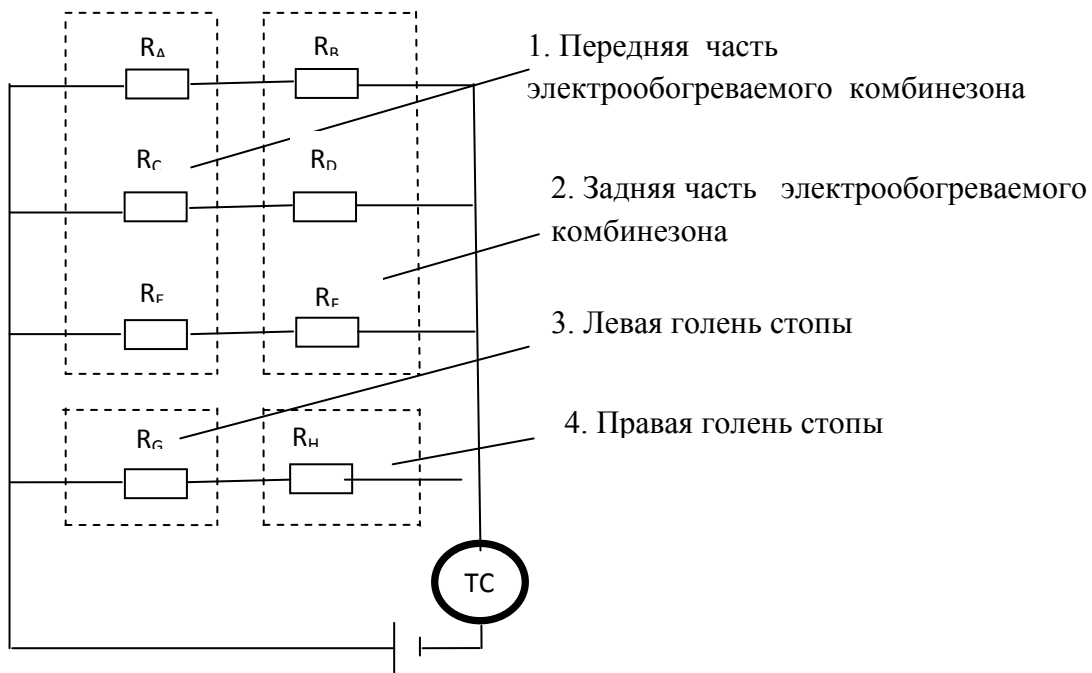


Рис. 3.9. Схема подключения пакетов электрических резисторов и терморегулятора в электрическую цепь в варианте комбинезона 3б



Рис. 3.10. Внешний вид аккумуляторов типа GP и универсального зарядного устройства типа NEW STAR NA-830.



Рис. 3.11. Внешний вид терморегулятора и его месторасположение.

3.6 Базовая основа и технология изготовления электрообогреваемых комбинезонов

Базовая основа и технология изготовления электрообогреваемых комбинезонов 1, 2 и 3 существенно не отличается друг от друга вследствие одинаковости их конструкций [51, 84-86].

На рис. 3.12. показана базовая основа мужского электрообогреваемого комбинезона 3 для строителя (размер- 100, рост-170, полнота-88) с указанием его основных частей.

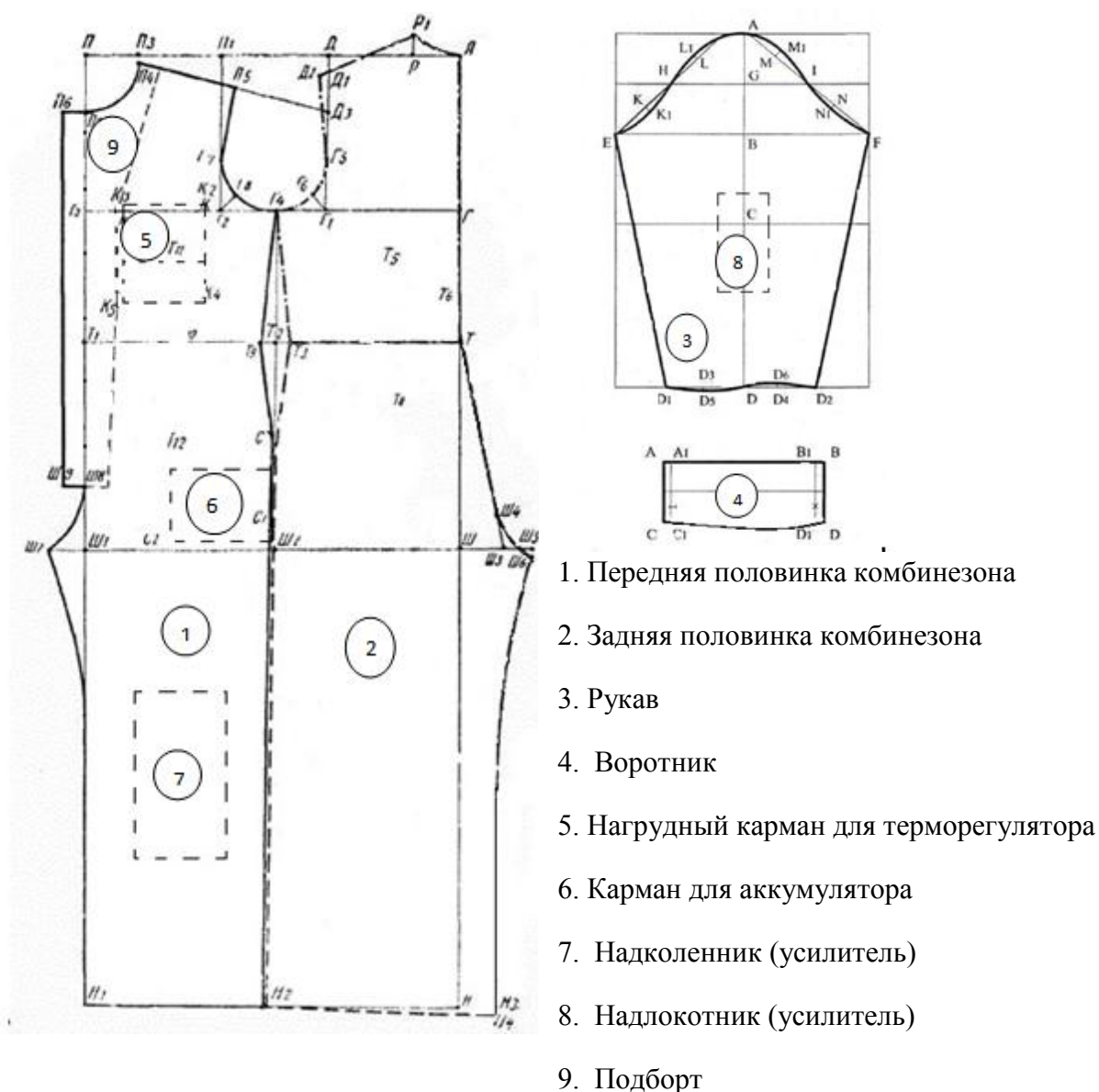


Рис. 3.12. Базовая основа мужского электрообогреваемого комбинезона 3

Приведем последовательность изготовления электрообогреваемого комбинезона 3. Электрообогреваемый мужской комбинезон 3 предназначен для строителей, работающих в

северных районах Армении в переходном и холодном периодах года. Он состоит из передних и задних половинок (верх и низ цельнокроены), втачных одношовных рукавов, отложного воротника, трех нагрудных карманов с клапанами, планки для застежки, двух надлокотников и двух наколенников.

Все детали комбинезона (верх-дублированный материал из ПВХ-а, прокладка-двухслойный синтепон и бязь, подкладка – дубль-сатин) имеют одинаковый крой.

По всей поверхности основных деталей используются прокладки из бязи и утепляющие прокладки из синтепона. Последний слой комбинезонов - подкладка из дубль-сатина.

Комбинезон 3 согласно методам современной технологии обрабатывается в следующей очередности [87 -91]. Верхний и нижний воротники стачиваются по трем краям, после чего воротник выворачивается на лицевую сторону, выпрямляются углы, затем закрепляется по краям настрочным швом.

На передней половинке комбинезона 3 поочередно настрачиваются надколенники с подогнутыми краями по намеченным линиям. На рукава настрачиваются надлокотники с подогнутыми краями по намеченным линиям.

Планку для застежки стачивают по трем сторонам с изнаночной стороны, затем ее выворачивают на лицевую сторону и выпрямляют углы. Настрачивают планку по трем краям.

Стачивают клапаны карманов для аккумуляторов и терморегулятора по боковым краям, затем выворачивают клапаны на лицевую сторону и выпрямляют углы. Настрачивают клапаны по трем краям. Настрочным швом прикрепляют на клапаны с внутренней стороны липучки. Подгибают верхний край карманов и настрачивают. Застрачивают нижние углы карманов для придания им объемности. С подогнутыми краями пришивают карманы по намеченным линиям к передним половинкам верха комбинезона. Подгибают клапаны и настрачивают.

Накладывают на задние половинки комбинезона 3 бязевую и синтепоновую прокладки и стачивают две половинки по средней линии спинки и шву сидения. Пришивают

с внутренней стороны к спинке в определенных местах пуговицы для подвешивания электронагревательных плат.

Накладывают бязевую и утепляющую прокладки на передние половинки и стачивают по всем краям.

На рукава накладывают бязевую и утепляющую прокладки и стачивают по краям, одновременно притачивая к низу рукавов бейку.

Подгибают края подбортов вовнутрь и настрачивают застежку-молнию на края бортов. Настрачивают планку на левую половинку комбинезона по краю борта. Стачивают две передние половинки комбинезона по шву банта. Стачивают плечевые швы. Втачивают воротник в горловину. Стачивают боковые швы. Притачивают бейку к нижним краям брюк. Стачивают рукава по нижнему шву. Втачивают рукава в пройму. Стачивают шаговые швы брюк.

Подкладку обрабатывают из тех же деталей, но с одним различием: передние и задние половинки- отрезные по линии талии. Соединение деталей подкладки происходит в той же последовательности.

По линии талии пришивают застежку-молнию к верхним и нижним половинкам подкладки. Пришивают подкладку к изделию по нижнему срезу рукавов, по верхним краям подбортов, по шву стачивания воротника и нижним краям брюк. Для застегивания планки пришивают по намеченным участкам липучки на левую и правую половинки комбинезона. После пришивания среднего шва спинки по намеченным местам пришиваются 16 пуговиц для подвешивания электронагревательных плат.

Все швы комбинезона выполнены нитью 40/2 из 100% полиэстера на одноигольной универсальной машине JUKI DLN-5410N-7.

3.7 Сравнение электрообогреваемых комбинезонов 1, 2 и 3 и выбор его основной конструкции.

Проведенные эксперименты и расчеты показывают, что система электрообогрева комбинезона 1 с нихромовыми нагревательными элементами предназначена только для компенсации тепловых потерь с поверхности тела строителя, а не для перегрева его отдельных частей. Система электрообогрева позволяет облегчить конструкцию комбинезона и обеспечить большую свободу движениям строителя.

Однако нихромовая проволока диаметром 0.25мм имеет небольшое поперечное сечение и может легко оборваться при движениях строителя. Использование проволоки диаметром 0.5мм приводит к увеличению потребляемой мощности от аккумуляторных батарей примерно в 4 раза (~50 Вт). Наличие ртутного контактного термометра с электромагнитным реле усложняет конструкцию комбинезона и лишь контролирует температуру воздушной среды внутри него, не имея возможности его регулирования.

В комбинезоне 2 потребляется мощность порядка до 80 Вт, что невозможно обеспечить аккумуляторными батареями постоянного тока вследствие увеличения массы комбинезона. Кроме того, в указанном комбинезоне обогреваются полностью передняя и задняя части тела строителя, вызывая перегрев одной части и недогрев –в другой, что может привести к серьезным заболеваниям строителя. Сравнительно большие масса пакета комбинезона 2 и количество слоев приводит к определенному сковыванию движений строителя и понижению производительности труда. Использование дорогостоящих материалов в пакете комбинезона повышает рыночную цену последнего.

Наличие терморегулятора в комбинезонах 2 и 3 позволяет регулировать температуру внутри них и этим обеспечивать экономный расход аккумуляторных батарей, что является преимуществом этих комбинезонов.

Резюмируя вышесказанное, можно констатировать, что основной конструкцией электрообогреваемого комбинезона может служить комбинезон 3, отличающийся достаточно низкой рыночной ценой, малой массой, высокими теплозащитными свойствами и возможностью обеспечения высокого теплового комфорта, достаточной подвижности и работоспособности строителя.

С точки зрения эффективности нагрева отдельных зон электрообогреваемого комбинезона 3 в соответствии с местными тепловыми потерями тела строителя наиболее целесообразным является второй вариант 3 (б) комбинезона 3.

Поэтому, дальнейшие исследования были в основном проведены для комбинезона 3 (б).

ВЫВОДЫ

1. Анализ существующих методов обогрева различных конструкций, в том числе и одежды, и проведенные нами исследования показывают, что наиболее регулируемую и равномерную подачу тепла можно обеспечить применением электроэнергии.

2. Предложены варианты конструкций электрообогреваемых комбинезонов, отличающиеся как пакетом материалов, так и нагревательными элементами, образующими систему электрообогрева. В качестве нагревательных элементов использованы токопроводящие графитированные ленты (комбинезон 1) спиральные нихромовые нагреватели (комбинезон 2) и электрические резисторы типа МЛТ (комбинезон 3), собранные в виде плат. Проведен расчет электрической системы каждого из комбинезонов.

3. Проведен выбор материалов для вариантов электрообогреваемых комбинезонов из условия легкости конструкции, достаточной теплоизоляции и сравнительно низкой себестоимости, приведена технологическая последовательность изготовления комбинезонов.

4. Все варианты комбинезонов снабжены терморегуляторами температуры, предназначенными для обеспечения нормального пододежного микроклимата и комфортного теплового состояния человека.

5. Питание системы электрообогрева комбинезонов 1, 2 и 3 осуществляется от аккумуляторных батарей, расположенных в их боковых карманах, которые имеют возможность подзарядки. Применение источников постоянного тока не оказывает отрицательного влияния на самочувствие человека.

ГЛАВА 4. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИСПЫТАНИЙ ЭЛЕКТРООБОГРЕВАЕМОГО КОМБИНЕЗОНА И ИХ АНАЛИЗ

4.1 Исследование продолжительности работы аккумуляторной батареи при различных температурах внешней среды и выбор рационального положения терморегулятора

Согласно имеющимся данным и проведенным исследованиям при проектировании производственной теплозащитной одежды необходимо учитывать следующее:

1. Чем более интенсивную физическую работу выполняет человек, тем меньшее тепловое сопротивление должна иметь его одежда и наоборот. Так, тепловое сопротивление производственной одежды человека, энергозатраты которого превышают 120 Вт, почти в пять раз больше теплового сопротивления одежды человека энергозатраты которого составляют около 400 Вт [40,50,51,58,72].

2. Тепловое сопротивление производственной одежды определяет время в течение которого человек должен находиться в тех или иных метеорологических условиях. Чем дольше на человека воздействует холод, тем большее тепловое сопротивление должна иметь его одежда. Время пребывания человека на холоде не должно превышать $(3.5 \div 4)$ ч, а при температуре ниже $(-25 \div -30)^{\circ}\text{C}$ – $(1,5 \div 2)$ ч. Сравнительно низкая продолжительность пребывания человека на холоде в производственной теплозащитной одежде объясняется, в первую очередь, отсутствием в настоящее время материалов, из которых можно изготовить одежду с тепловым сопротивлением более $1,1 \text{ (м}^2\text{ К)/Вт}$ [40,50,51,58,72].

3. Производственная теплозащитная одежда, имеющая тепловое сопротивление $1,1 \text{ (м}^2\text{ К)/Вт}$ и более, имела бы значительную массу и толщину пакета, что сделало бы ее неудобной для работы, затрудняла бы движения человека, снижая его работоспособность [40,50,51,58,72].

4. Наиболее рациональной теплозащитной одеждой может служить одежда с замкнутыми воздушными прослойками толщиной не более 5 мм, расположенными ближе к внешней поверхности одежды, а также одежда, обогреваемая источниками тепла [40,50,51,58,72].

Продолжительность работы аккумуляторной батареи при различных температурах внешней среды при испытании разработанных электрообогреваемых комбинезонов для строителей исследовалась согласно методике, описанной в главе 2. Испытание системы электрообогрева комбинезона 3б с использованием плат с резисторами марки МЛТ и аккумуляторной батареи марки GP проводилось при следующих температурах внешней среды: 0,-5,-10,-15,-20 °С. Электрообогреваемый комбинезон надевался на комплект нижнего белья строителя, который выполнял работу средней тяжести при указанных температурах внешней среды. Первоначальное значение напряжения на клеммах аккумуляторной батареи после полной зарядки составляло 16,57 В. Через каждые полчаса фиксировалось напряжение на клеммах батареи при трех положениях терморегулятора: 28, 30, 32 °С. Через четыре часа после начала работы строителя т.е. во время его обеденного перерыва аккумуляторная батарея или подзаряжалась в зависимости от падения напряжения на клеммах или заменялась новым комплектом. Результаты проведенных экспериментов при температуре -20°С представлены в таблице 4.1 и на рис. 4.1.

Таблица 4.1

Изменение напряжения аккумуляторной батареи электрообогреваемого комбинезона с течением времени при температуре внешней среды -20°С.

Время, мин.	Напряжение при положении регулятора, В		
	32°С	30°С	28°С
1	2	3	4
0	16.57	16.57	16.57
30	14.62	14.68	14.71
60	14.53	14.58	14.64
90	14.49	14.51	14.59
120	14.45	14.46	14.52
150	14.34	14.39	14.47
180	14.11	14.18	14.38
210	13.36	13.8	14.13
240	12.2	13.4	14

Время, мин.	Напряжение при положении регулятора, В		
	32°С	30°С	28°С
1	2	3	4
240	16.57	16.57	16.57
270	14.62	14.68	14.71
300	14.5	14.58	14.64
330	14.49	14.51	14.59
360	14.45	14.46	14.52
390	14.34	14.39	14.47
420	14.11	14.18	14.38
450	13.36	13.8	14.13
480	12.2	13.4	14

Несмотря на то, что при температуре внешней среды -20 °С, наименьшая разряженность аккумуляторной батареи наблюдается при положении терморегулятора 28°С,

эта постоянная температура не может обеспечить нормальный тепловой микроклимат пододежного пространства. Поэтому для этой температуры внешней среды оптимальным положением терморегулятора является 32°C. При этой температуре внешней среды напряжение аккумуляторной батареи падает от 16,57 до 12,2 в течение 4-х часов работы строителя. После перерыва аккумуляторная батарея заменяется на новую, а разряженная батарея ставится на подзарядку.

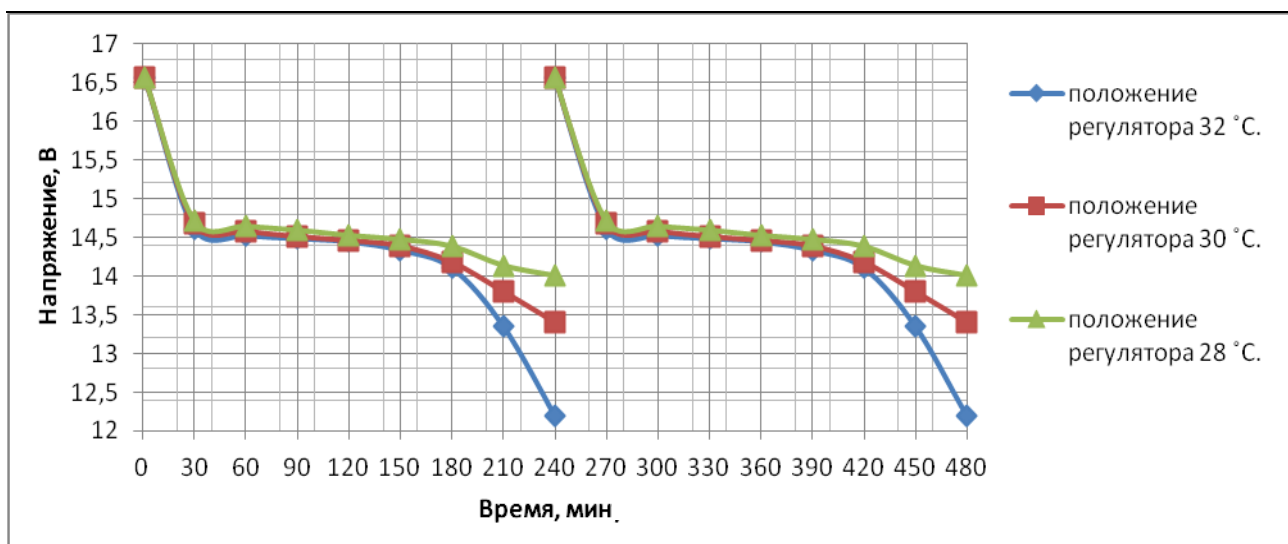


Рис. 4.1. График изменения напряжения аккумуляторной батареи электрообогреваемого комбинезона с течением времени при температуре внешней среды -20°C.

Результаты проведенных экспериментов при температуре внешней среды -15°C представлены в таблице 4.2. и на рис. 4.2.

При температуре внешней среды -15°C, наименьшая разряженность аккумуляторной батареи наблюдается при положении терморегулятора 28°C, однако эта постоянная температура не может обеспечить тепловой комфорт строителя. Поэтому для этой температуры внешней среды оптимальным положением терморегулятора является 32°C. При этой температуре внешней среды напряжение аккумуляторной батареи падает от 16,57 В до 12,6 В в течение 4-х часов работы строителя. После перерыва аккумуляторная батарея заменяется на новую, а разряженная батарея ставится на подзарядку. Результаты проведенных экспериментов при температуре -15°C представлены в таблицах 4.2.и на рис. 4.2.

Таблица 4.2.

Изменение напряжения аккумуляторной батареи электрообогреваемого комбинезона с течением времени при температуре внешней среды -15°C .

Время, мин.	Напряжение при положении регулятора, В			Время, мин.	Напряжение при положении регулятора, В		
	32 $^{\circ}\text{C}$	30 $^{\circ}\text{C}$	28 $^{\circ}\text{C}$		32 $^{\circ}\text{C}$	30 $^{\circ}\text{C}$	28 $^{\circ}\text{C}$
1	2	3	4	1	2	3	4
0	16.57	16.57	16.5	240	16.57	16.57	16.57
30	14.69	14.75	14.77	270	14.69	14.75	14.77
60	14.62	14.67	14.68	300	14.62	14.67	14.68
90	14.55	14.58	14.61	330	14.55	14.58	14.61
120	14.49	14.56	14.59	360	14.49	14.56	14.59
150	14.46	14.48	14.54	390	14.46	14.48	14.54
180	14.34	14.42	14.47	420	14.34	14.42	14.47
210	13.7	13.9	14.33	450	13.7	13.9	14.33
240	12.6	13.3	13.9	480	12.6	13.3	13.9

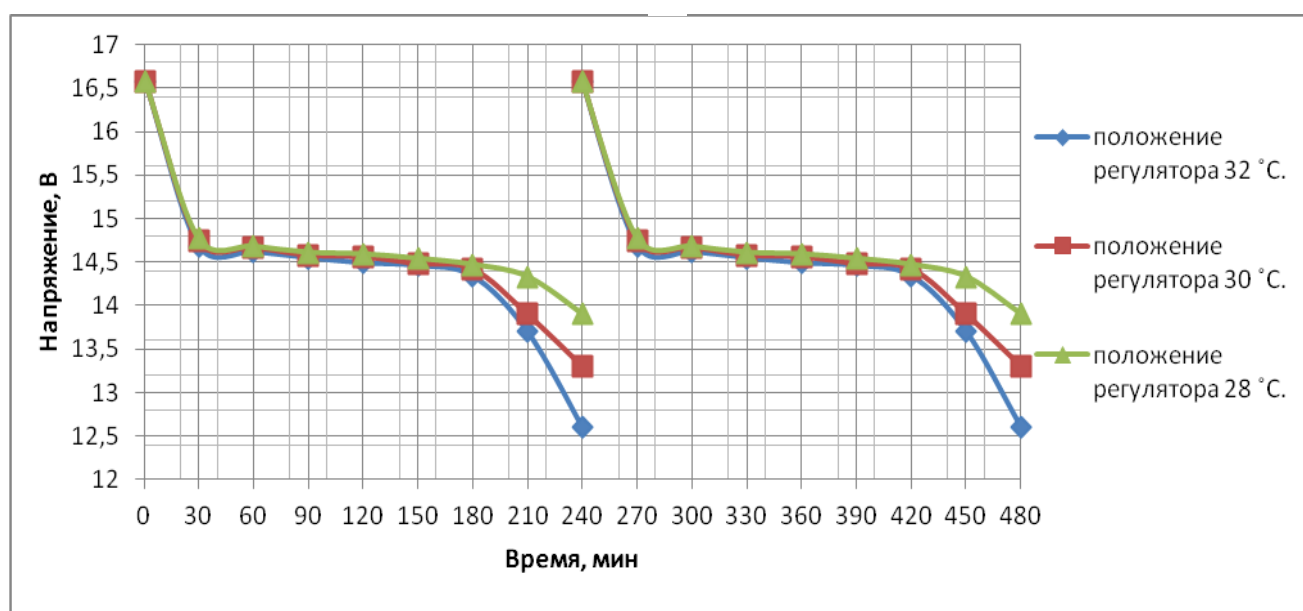


Рис. 4.2. График изменения напряжения аккумуляторной батареи электрообогреваемого комбинезона с течением времени при температуре внешней среды -15°C .

Результаты проведенных экспериментов при температуре -10°C представлены в таблице 4.3. и на рис. 4.3.

Таблица 4.3.

Изменение напряжения аккумуляторной батареи электрообогреваемого комбинезона с течением времени при температуре внешней среды -10°C

Время, мин.	Напряжение при положении регулятора, В			Время, мин.	Напряжение при положении регулятора, В		
	32°C	32°C	32°C		32°C	32°C	32°C
1	2	3	4	1	2	3	4
0	16.57	16.57	16.57	240	16.57	16.57	16.57
30	14.75	14.81	14.87	270	14.75	14.81	14.87
60	14.68	14.73	14.8	300	14. 8	14.73	14.8
90	14.6	4.64	14.7	330	14.6	14.64	14.7
120	14.53	14.61	14.68	360	14.53	14.61	14.68
150	14.51	14.52	14.54	390	14.51	14.52	14.54
180	14.39	14.47	14.51	420	14.39	14.47	14.51
210	14.1	14.38	14.4	450	14.1	14.38	14.4
240	13.4	14	14.39	480	13.4	14	14.39

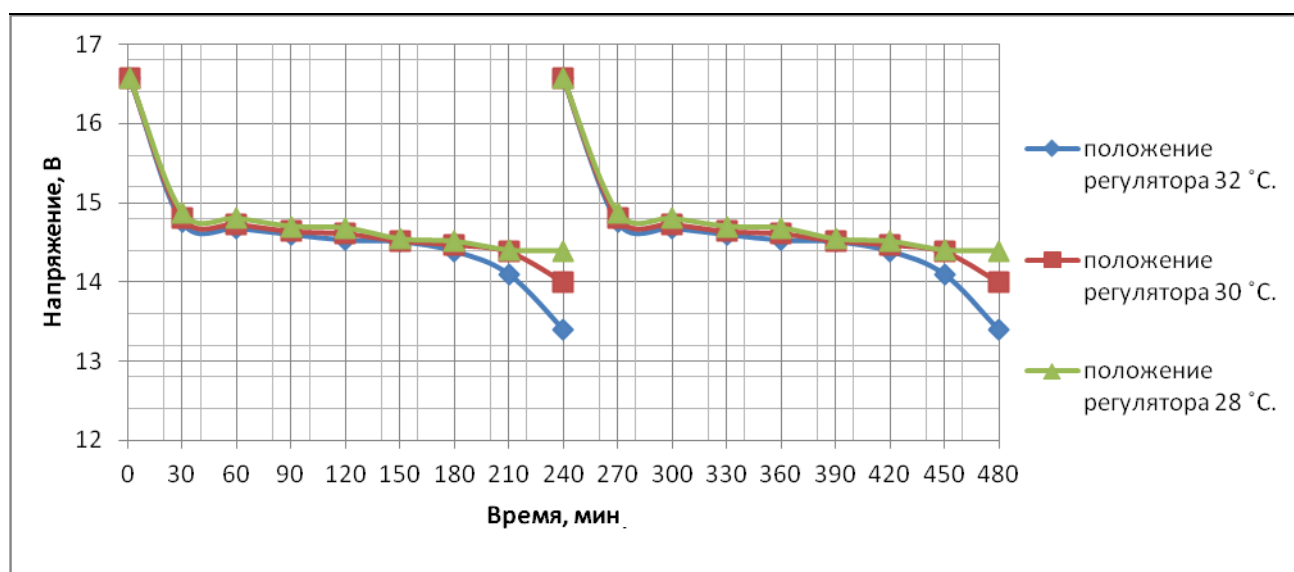


Рис. 4.3. График изменения напряжения аккумуляторной батареи электрообогреваемого комбинезона с течением времени при температуре внешней среды -10°C

При температуре внешней среды -10°C , наименьшая разряженность аккумуляторной батареи наблюдается при положении терморегулятора 28°C , однако эта постоянная температура не может обеспечить тепловой комфорт строителя. Поэтому для этой температуры внешней среды оптимальным положением терморегулятора является 32°C .

При этой температуре внешней среды напряжение аккумуляторной батареи падает от 16,57 В до 13,4 В в течение 4-х часов работы строителя.

После перерыва аккумуляторная батарея заменяется на новую и разряженная батарея ставится на подзарядку.

Результаты проведенных экспериментов при температуре -5°C представлены в таблице 4.4. и на рис. 4.4.

Таблица 4.4.

Изменение напряжения аккумуляторной батареи электрообогреваемого комбинезона с течением времени при температуре внешней среды -5°C .

Время, мин.	Напряжение при положении регулятора, В			Время, мин.	Напряжение при положении регулятора, В		
	32 ⁰ С	30 ⁰ С	28 ⁰ С		32 ⁰ С	30 ⁰ С	28 ⁰ С
1	2	3	4	1	2	3	4
0	16.57	16.57	16.57	240	16.57	16.57	16.57
30	14.89	14.92	14.95	270	14.89	14.92	14.95
60	14.73	14.79	14.86	300	14.73	14.79	14.86
90	14.65	14.7	14.77	330	14.65	14.7	14.77
120	14.58	14.67	14.7	360	14.58	14.67	14.7
150	14.56	14.57	14.6	390	14.56	14.57	14.6
180	14.45	14.54	14.56	420	14.45	14.54	14.56
210	14.34	14.44	14.51	450	14.34	14.44	14.51
240	14.26	14.29	14.45	480	14.26	14.29	14.45

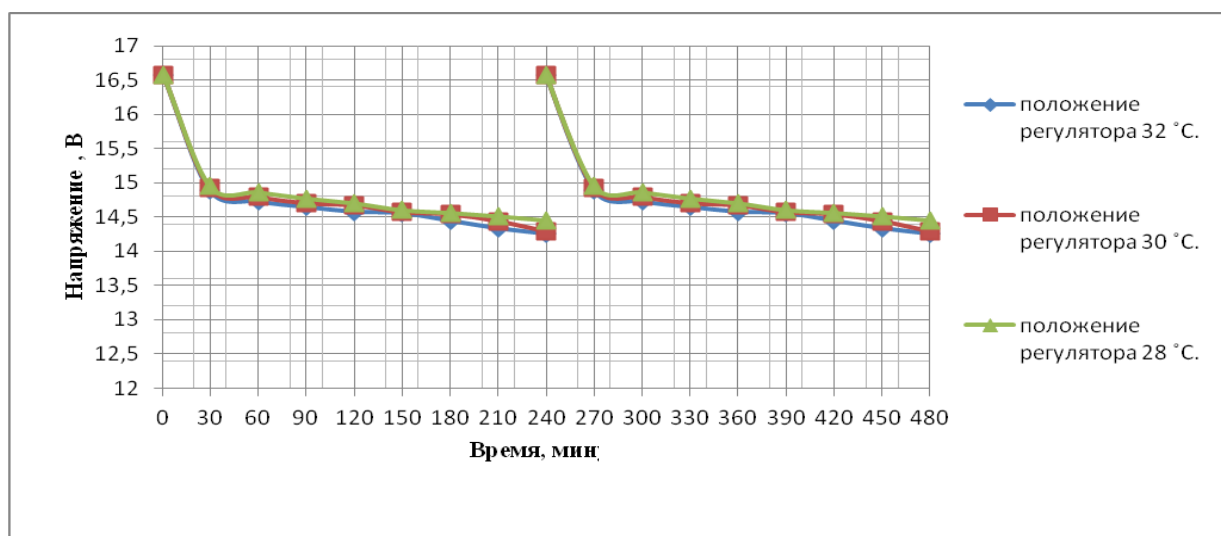


Рис. 4.4. График изменения напряжения аккумуляторной батареи электрообогреваемого комбинезона с течением времени при температуре внешней среды -5°C .

При температуре внешней среды -5°C , наименьшая разряженность аккумуляторной батареи наблюдается при положении терморегулятора 28°C , однако эта постоянная температура не может обеспечить тепловой комфорт строителя. Поэтому для этой температуры внешней среды оптимальным положением терморегулятора является 30°C . При этой температуре внешней среды напряжение аккумуляторной батареи падает от 16,57 В до 14,29 В в течение 4-х часов работы строителя. После перерыва используется новая аккумуляторная батарея, а разряженная - ставится на подзарядку.

Результаты проведенных экспериментов при температуре 0°C представлены в таблице 4.5. и на рис. 4.5.

Таблица 4.5.

Изменение напряжения аккумуляторной батареи электрообогреваемого комбинезона с течением времени при температуре внешней среды 0°C .

Время, мин.	Напряжение при положении регулятора, В			Время, мин.	Напряжение при положении регулятора, В		
	32°C	30°C	28°C		32°C	30°C	28°C
1	2	3	4	1	2	3	4
0	16.57	16.57	16.57	240	15.1	15.1	15.2
30	14.95	14.98	15.1	270	14.81	14.87	14.95
60	14.78	14.82	14.86	300	14.7	14.79	14.88
90	14.7	14.75	14.78	330	14.62	14.7	14.74
120	14.62	14.67	14.7	360	14.58	14.67	14.7
150	14.59	14.63	14.68	390	14.51	14.5	14.6
180	14.51	14.4	14.63	420	14.45	14.54	14.56
210	14.44	14.5	14.6	450	14.36	14.44	14.51
240	14.41	14.45	14.56	480	14.29	14.33	14.45

При температуре внешней среды 0°C , наименьшая разряженность аккумуляторной батареи наблюдается при положении терморегулятора 28°C , и эта постоянная температура может обеспечить тепловой комфорт строителя. Следовательно, и для этой температуры внешней среды оптимальным положением терморегулятора является 28°C . При этой температуре напряжение аккумуляторной батареи падает от 16,57 В до 14,56 В в течение 4-х часов работы строителя.

Во время перерыва аккумуляторная батарея ставится на подзарядку и будет работать еще 4 часа и до конца работы напряжение аккумуляторной батареи падает до 14,45 В.

Обобщая вышесказанное, можно заключить, что при всех исследованных температурах внешней среды, напряжение на клеммах аккумуляторной батареи уменьшается с течением времени как до перерыва, так и после него, причем скорость изменения напряжения возрастает с понижением температуры внешней среды. Для обеспечения 8-ми часовой работы строителя необходимо иметь два комплекта аккумуляторных батарей. Оптимальное положение терморегулятора при различных температурах внешней среды представлено ниже:

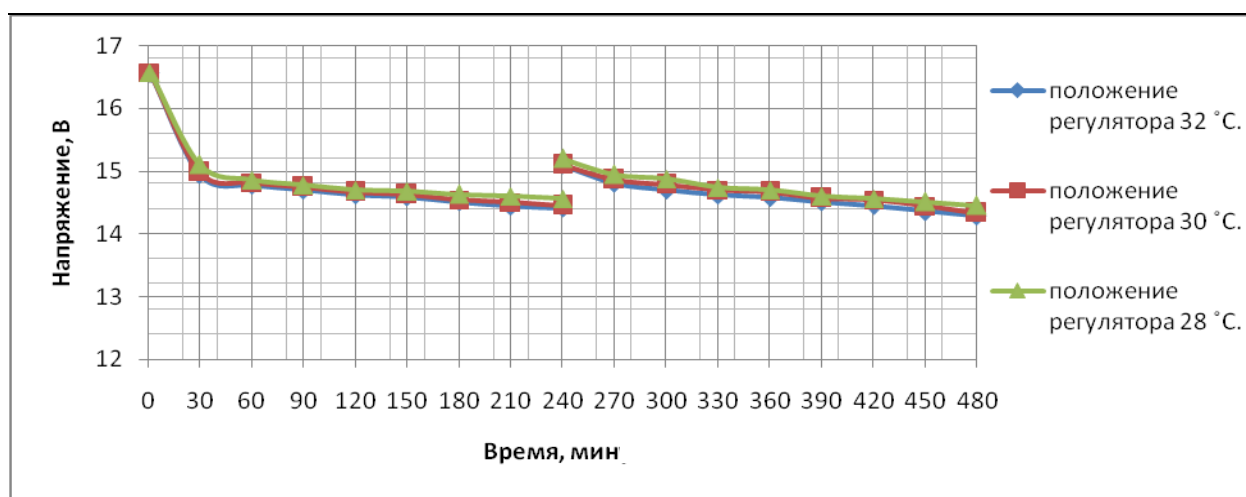


Рис. 4.5. График изменения напряжения аккумуляторной батареи электрообогреваемого комбинезона с течением времени при температуре внешней среды 0°C.

- -20 °C ----- 32 °C,
- -15 °C ----- 32 °C,
- -10 °C ----- 32 °C,
- -5 °C ----- 30 °C,
- 0 °C ----- 28 °C.

При достижении указанных температур терморегулятора, последний отключает систему электрообогрева комбинезона и включает ее, когда температура пододежного пространства понизится на 1 °C при данной температуре внешней среды. Как показывают результаты испытаний, оптимальная температура терморегулятора обеспечивает

комфортный микроклимат пододежного пространства и обеспечивает экономный режим работы аккумуляторов.

4.2. Исследование местных теплотерь с поверхности тела строителя в электрообогреваемом комбинезоне при различных температурах внешней среды

Местные теплотери с поверхности тела строителя, одетого в электрообогреваемый комбинезон, исследовались на 7-ми участках тела с использованием тепломерных датчиков по методике, приведенной в главе 2. Результаты исследований местных теплотерь с поверхности тела строителя при температуре внешней среды -20°C представлены в таблице 4.6.

Таблица 4.6.

Местные теплотери с различных участков поверхности тела строителя в электрообогреваемом комбинезоне $\text{Вт}/\text{м}^2$, при температуре внешней среды -20°C .

Время, мин.	Туловище	Плечо	Бедро	Стопа	Кисть	Голова	Голень	Средневзвешенное значение
1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	80.64	79.51	75.18	125.08	227.06	205.26	79.11	101.711
30	81.39	80.07	75.74	125.37	228.08	206.1	79.88	102.4051
60	81.76	80.45	75.93	125.37	227.57	206.52	80.27	102.6885
90	82.14	80.26	76.12	125.66	228.08	206.1	80.65	102.8879
120	82.33	80.64	76.31	124.79	227.06	206.94	80.84	103.0433
150	81.95	80.83	75.93	124.21	227.06	206.52	80.46	102.7301
180	81.58	80.45	75.37	123.06	226.04	207.37	80.07	102.3312
210	81.95	80.26	75.74	121.91	223.49	207.37	80.46	102.3766
240	81.2	79.7	75.37	120.75	220.43	206.52	79.69	101.5775
270	81.76	80.26	75.93	125.37	228.6	207.37	80.27	102.7847
300	82.14	80.64	76.31	125.66	228.08	207.79	80.65	103.1322
330	81.95	80.07	75.93	125.08	226.55	207.37	80.46	102.7367
360	81.76	80.07	75.56	124.21	224	207.79	80.27	102.4296
390	81.2	79.88	75.18	123.06	222.47	206.94	79.69	101.8357
420	81.58	79.7	74.8	121.33	219.4	206.52	80.07	101.6141
450	81.01	79.88	74.99	120.18	216.85	206.1	79.49	101.1896
480	80.83	79.32	74.62	119.6	214.81	206.1	79.3	100.8153

Исследование местных теплотерь при температуре внешней среды -20°C проводилось при оптимальной температуре терморегулятора, равной 32°C .

На рис. 4.6. показано изменение местных теплотерь с поверхности тела строителя в электрообогреваемом комбинезоне в течение рабочей смены при температуре внешней среды -20°C .

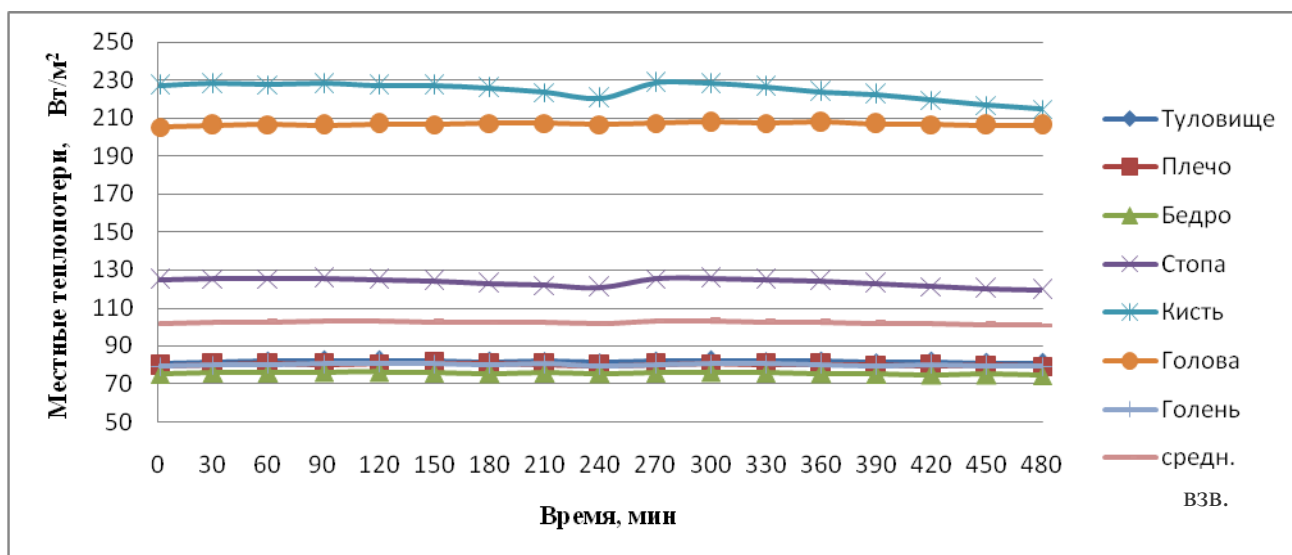


Рис. 4.6. Изменение местных теплотерь с поверхности тела строителя в электрообогреваемом комбинезоне в течение рабочей смены при температуре внешней среды -20°C .

Результаты исследований местных теплотерь с различных участков поверхности тела строителя в электрообогреваемом комбинезоне при температуре внешней среды -15°C представлены в таблице 4.7.

Таблица 4.7.

Местные теплотери с различных участков поверхности тела строителя в электрообогреваемом комбинезоне Вт/м^2 , при температуре внешней среды -15°C .

Время, мин	Туловище	Плечо	Бедро	Стопа	Кисть	Голова	Голень	Средневзвешенное значение
1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	73.36	71.87	67.21	111.44	200.73	183.81	71.62	91.47893
30	73.92	72.43	67.77	112.01	201.73	184.64	72.2	92.10092
60	74.3	72.24	68.14	112.01	202.23	185.46	72.58	92.43241
90	74.11	72.62	68.33	111.73	201.73	184.64	72.3	92.3255

Продолжение таблица 4.7								
1	2	3	4	5	6	7	8	9
120	74.3	72.43	68.33	110.87	200.73	185.05	72.58	92.32433
150	73.92	72.62	67.96	110.59	199.74	185.46	72.2	92.06173
180	74.11	72.43	67.58	109.45	198.74	185.88	72.39	91.95602
210	73.92	72.06	67.77	108.34	196.25	185.46	72.2	91.64104
240	73.55	71.69	67.39	107.46	193.76	184.64	71.82	91.08939
270	73.92	72.24	67.96	112.01	202.23	185.46	72.2	92.21431
300	74.3	72.62	68.33	112.3	201.23	186.29	72.58	92.57424
330	74.3	72.24	68.14	112.01	199.74	186.29	72.58	92.3939
360	74.48	72.06	67.96	111.44	198.24	185.46	72.77	92.23558
390	74.11	71.87	67.77	110.59	197.24	185.05	72.39	91.85706
420	74.3	72.06	67.39	109.17	194.26	185.46	72.58	91.69424
450	73.92	71.87	67.21	108.31	192.26	184.64	72.2	91.23265
480	73.55	71.5	67.03	107.46	190.27	184.23	71.82	90.78775

На рис. 4.7. показано изменение местных теплотерь с поверхности тела строителя в электрообогреваемом комбинезоне в течение рабочей смены при температуре внешней среды -15°C .

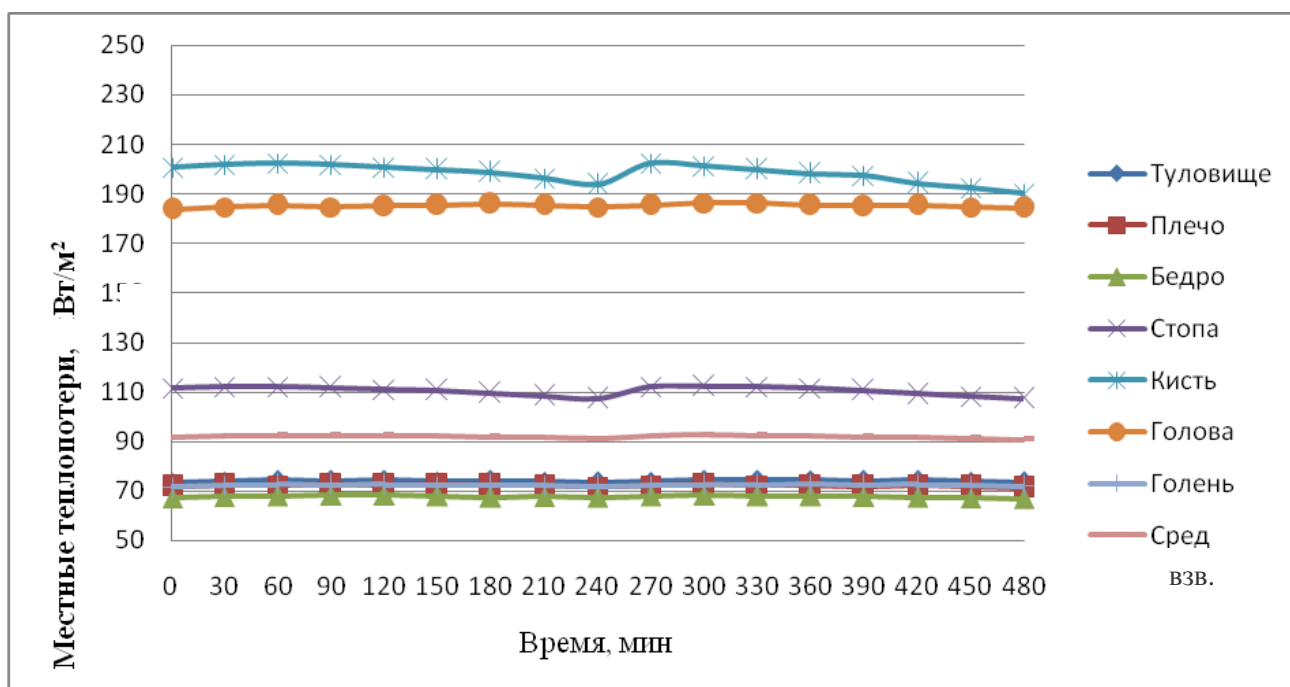


Рис. 4.7. Изменение местных теплотерь с поверхности тела строителя в электрообогреваемом комбинезоне в течение рабочей смены при температуре внешней среды -15°C .

Исследование местных теплопотерь при температуре внешней среды -15°C проводилось при оптимальной температуре терморегулятора, равной 32°C .

Результаты исследований местных теплопотерь с поверхности тела строителя в электрообогреваемом комбинезоне при температуре внешней среды -10°C представлены в таблице 4.8.

Таблица 4.8.

Местные теплопотери с различных участков поверхности тела строителя в электрообогреваемом комбинезоне $\text{Вт}/\text{м}^2$, при температуре внешней среды -10°C .

Время, мин	Туловище	Плечо	Бедро	Стопа	Кисть	Голова	Голень	Средневзвешенное значение
1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	65.51	64.03	59.78	98.57	173.48	162.61	63.58	81.11207
30	66.07	64.59	59.97	97.13	174.45	163.83	64.15	81.55147
60	66.44	64.4	60.34	97.41	174.94	164.64	64.53	81.89626
90	66.25	64.59	60.52	97.13	174.45	164.64	64.34	81.83469
120	66.44	64.59	60.34	97.57	173.48	164.23	64.53	81.83
150	66.62	64.77	60.34	98.29	172.02	164.64	64.72	81.95606
180	66.44	64.4	59.78	97.45	171.53	165.04	64.53	81.65202
210	66.81	64.22	60.15	96.33	169.09	164.23	64.91	81.63261
240	66.62	63.85	59.97	95.76	166.66	165.45	64.72	81.41531
270	66.25	64.4	60.34	99.41	174.94	164.64	64.34	81.93671
300	66.44	64.59	60.52	99.13	173.96	165.45	64.53	82.10155
330	66.62	64.22	60.15	99.13	172.5	165.04	64.72	81.9498
360	66.62	64.03	59.78	98.29	171.04	165.04	64.72	81.71944
390	66.44	64.22	59.97	97.17	170.07	164.64	64.53	81.55243
420	66.25	64.03	59.78	95.76	167.15	164.23	64.34	81.13639
450	66.07	63.85	59.6	94.92	165.2	163.42	64.15	80.77231
480	65.7	63.66	59.23	94.08	163.25	163.02	63.77	80.31116

На рис. 4.8. показано изменение местных теплопотерь с поверхности тела строителя в электрообогреваемом комбинезоне в течение рабочей смены при температуре внешней среды -10°C .

Исследование местных теплотер при температуре внешней среды -10°C проводилось при оптимальной температуре терморегулятора, равной 32°C .

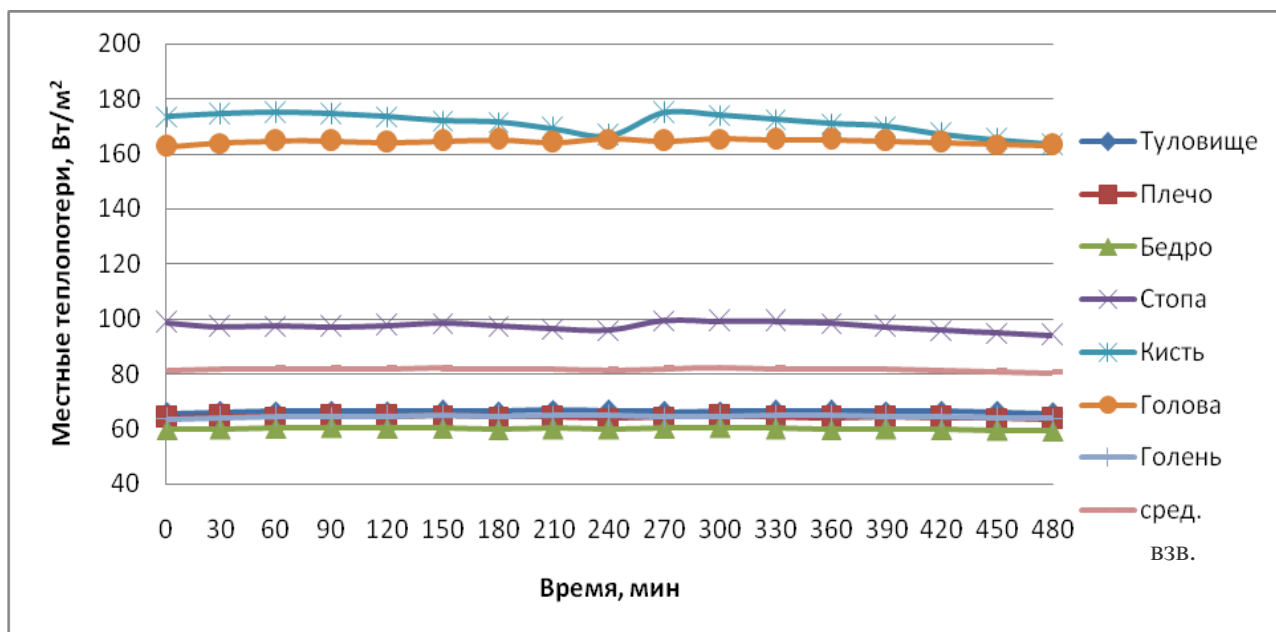


Рис. 4.8. Изменение местных теплотер с поверхности тела строителя в электрообогреваемом комбинезоне в течение рабочей смены при температуре внешней среды -10°C .

Результаты исследований местных теплотер с поверхности тела строителя в электрообогреваемом комбинезоне при температуре внешней среды -5°C представлены в таблице 4.9.

Таблица 4.9.

Местные теплотер с различных участков поверхности тела строителя в электрообогреваемом комбинезоне $\text{Вт}/\text{м}^2$ при температуре внешней среды -5°C .

Время, мин	Туловище	Плечо	Бедро	Стопа	Кисть	Голова	Голень	Средневзвешенное значение
1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	57.79	56.51	52.11	85.42	147.67	141.62	55.66	70.85747
30	57.97	56.69	52.3	85.97	148.15	142.8	56.22	71.21806
60	57.79	56.51	52.11	85.69	147.67	142.01	55.85	70.93316
90	57.97	56.69	52.3	85.97	148.15	142.41	56.03	71.15975
120	58.16	56.51	52.11	85.97	147.67	142.01	55.85	71.07699
150	57.79	56.33	52.3	85.69	148.25	142.41	55.85	71.01428
180	58.16	56.51	52.11	84.86	145.29	141.62	55.66	70.84011

Продолжение таблица 4.9								
1	2	3	4	5	6	7	8	9
210	58.34	56.51	52.48	84.31	143.87	142.01	56.03	70.96789
240	57.97	56.33	52.3	83.48	142.92	141.62	55.85	70.62331
270	58.16	56.51	52.48	86.52	149.1	142.41	56.22	71.34355
300	57.97	56.69	52.66	86.25	148.15	142.01	56.03	71.22515
330	58.34	56.33	52.48	85.97	146.25	142.8	55.85	71.20527
360	58.16	56.14	52.3	85.42	144.82	142.01	56.03	70.92994
390	57.97	56.33	52.3	84.58	144.34	142.41	55.66	70.8043
420	58.16	55.96	52.11	84.03	142.44	141.62	55.85	70.60845
450	57.79	56.14	51.93	83.48	141.01	142.01	55.66	70.37641
480	57.61	55.96	51.93	82.92	140.06	141.62	55.47	70.15397

На рис. 4.9. показано изменение местных теплотерь с поверхности тела строителя в электрообогреваемом комбинезоне в течение рабочей смены при температуре внешней среды -5°C .

Исследование местных теплотерь при температуре внешней среды -5°C проводилось при оптимальной температуре терморегулятора, равной 30°C .

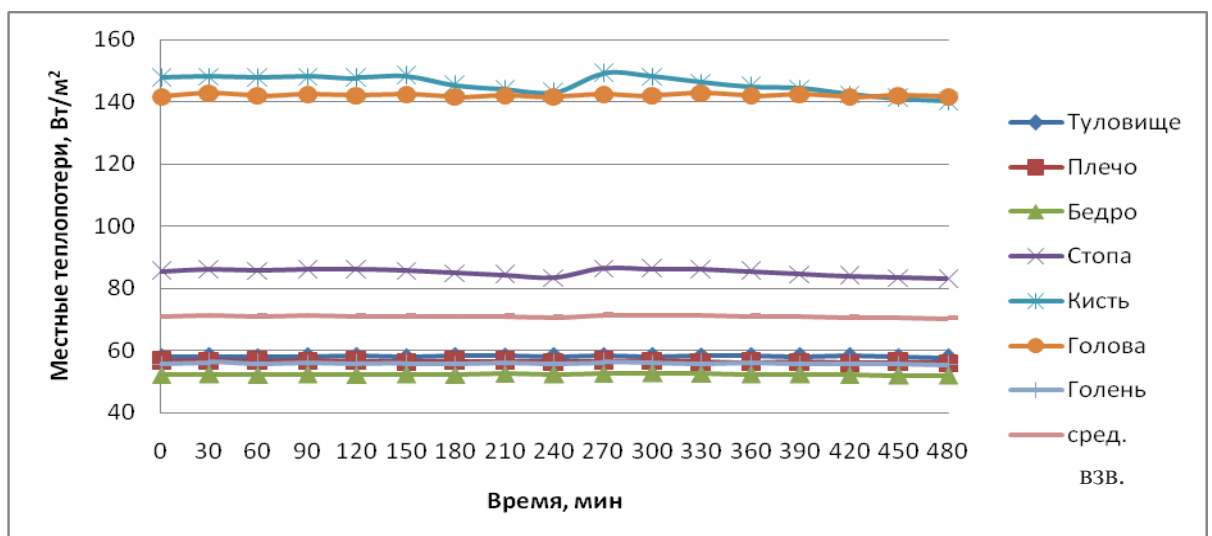


Рис. 4.9. Изменение местных теплотерь с поверхности тела строителя в электрообогреваемом комбинезоне в течение рабочей смены при температуре внешней среды -5°C .

В таблице 4.10 представлены результаты исследований местных теплотерь с поверхности тела строителя в электрообогреваемом комбинезоне при температуре внешней среды 0°C .

Таблица 4.10.

Местные теплотери с различных участков поверхности тела строителя в электрообогреваемом комбинезоне, Вт/м² при температуре внешней среды 0⁰С .

Время, мин	Туловище	Плечо	Бедро	Стопа	Кисть	Голова	Голень	Средневзвешенное значение
1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	49.82	48.55	44.2	72.26	122.32	121.2	47.67	60.46551
30	50.18	48.91	44.56	72.81	122.78	121.98	48.23	60.91418
60	50	48.73	44.38	72.53	122.32	121.2	47.86	60.63337
90	50.18	48.91	44.56	72.81	122.78	121.59	48.04	60.85588
120	50.36	48.73	44.38	72.81	122.32	121.2	47.86	60.7738
150	50	48.55	44.56	72.53	120.93	121.59	47.86	60.62266
180	50.36	48.73	44.38	71.72	120	120.81	47.67	60.5409
210	50.54	48.73	44.74	71.17	118.61	121.2	48.04	60.66774
240	50.18	48.55	44.56	70.35	117.69	120.81	47.86	60.32856
270	50.36	48.73	44.74	73.35	123.71	121.59	48.23	61.03473
300	50.18	48.91	44.92	73.08	122.78	121.2	48.04	60.92151
330	50.54	48.55	44.74	72.81	120.93	121.98	47.86	60.90024
360	50.36	48.37	44.56	72.26	119.54	121.2	48.04	60.62894
390	50.18	48.55	44.56	71.44	119.08	121.59	47.67	60.50666
420	50.36	48.19	44.38	70.9	117.22	120.81	47.86	60.31439
450	50	48.37	44.2	70.35	115.83	121.2	47.67	60.08754
480	49.82	48.19	44.2	69.81	114.91	120.81	47.48	59.86774

На рис. 4.10. показано изменение местных теплотер с поверхности тела строителя в электрообогреваемом комбинезоне в течение рабочей смены при температуре внешней среды 0⁰С.

Исследование местных теплотер при температуре внешней среды 0⁰С проводилось при оптимальной температуре терморегулятора, равной 28⁰С.

На рис. 4.11. показано изменение теплотер с поверхности туловища строителя при температурах внешней среды -20,-15,-10,-5,0⁰С в течение рабочей смены.

Как видно из рис. 4.11., наименьшее значение теплотер с поверхности туловища строителя наблюдается в самом начале и конце рабочей смены, при всех значениях температур внешней среды. С понижением температуры внешней среды от 0⁰С до -20⁰ . С теплотери с поверхности туловища возрастают примерно в 1.5-1.6 раза. Теплотери с

поверхности туловища строителя при фиксированной температуре внешней среды в течение рабочей смены изменяются незначительно, что связано с работой терморегулятора, обеспечивающего нормальный микроклимат пододежного пространства.

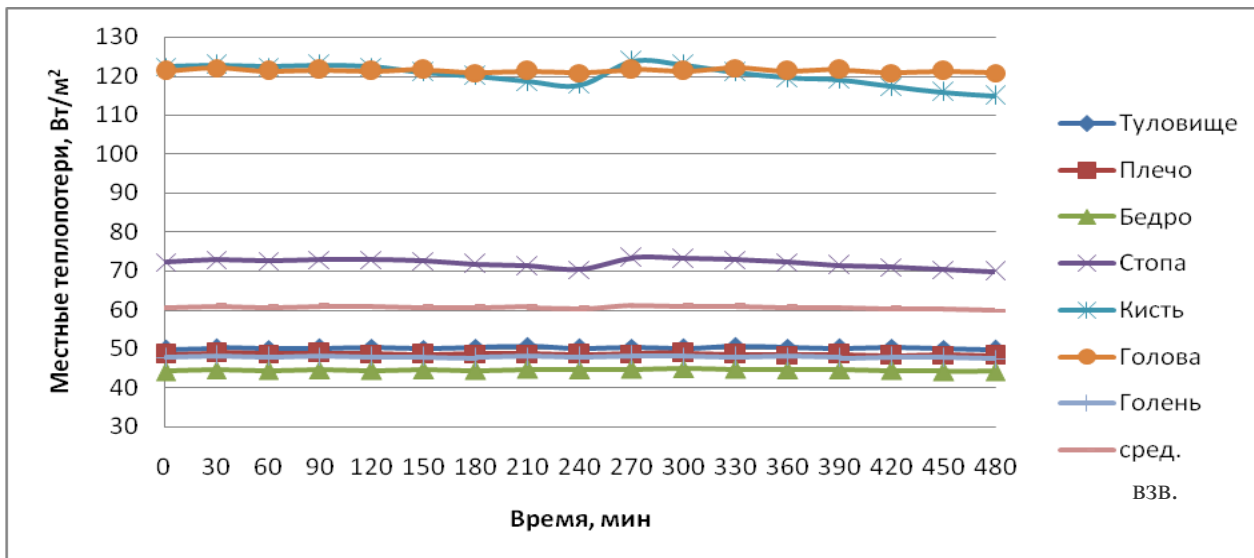


Рис. 4.10. Изменение местных теплотерь с поверхности тела строителя в электрообогреваемом комбинезоне в течение рабочей смены при температуре внешней среды $0^{\circ}C$.

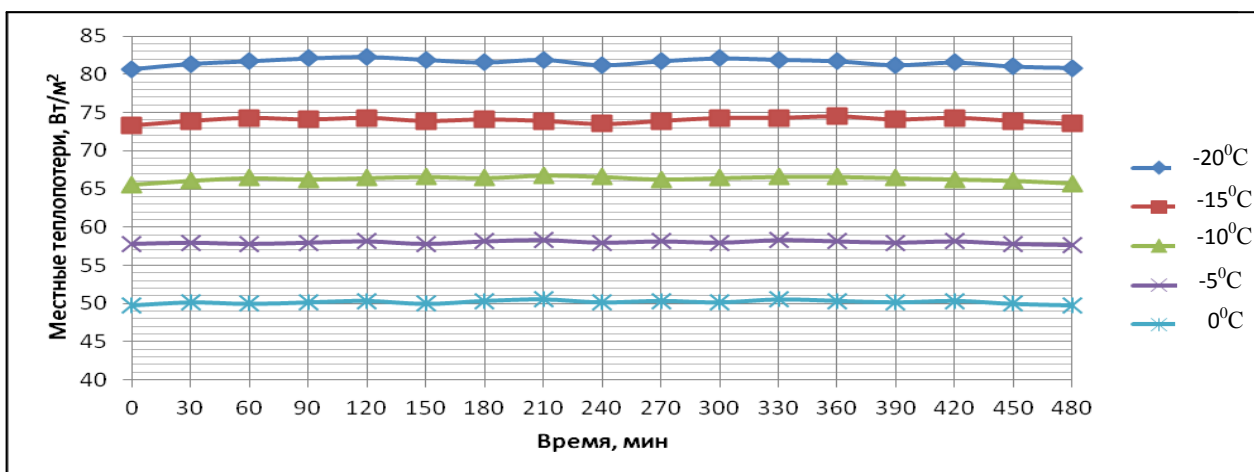


Рис. 4.11 Изменение местных теплотерь с поверхности туловища строителя в электрообогреваемом комбинезоне в течение рабочей смены при различных температурах внешней среды.

На рис. 4.12. показано изменение теплотерь с поверхности плеча строителя при температурах внешней среды $-20,-15,-10,-5,0^{\circ}C$ в течение рабочей смены.

Как видно из рис. 4.12, наименьшее значение теплотерь с поверхности плеча строителя наблюдается в самом начале и конце рабочей смены, при всех значениях

температур внешней среды. С понижением температуры внешней среды от 0°C до -20°C теплотери с поверхности плеча возрастают примерно в 1.5-1.6 раза. Теплотери с поверхности плеча строителя при фиксированной температуре внешней среды в течение рабочей смены изменяются незначительно, что связано с работой терморегулятора, обеспечивающего комфортные условия для строителя.

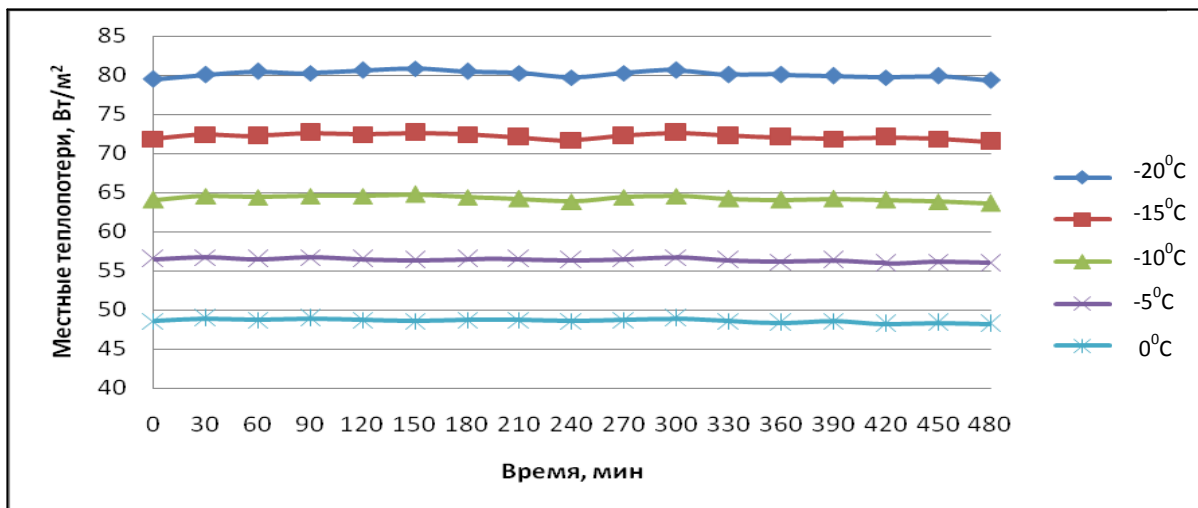


Рис. 4.12 Изменение местных теплотер с поверхности плеча строителя в электрообогреваемом комбинезоне в течение рабочей смены при различных температурах внешней среды.

На рис. 4.13 показано изменение теплотер с поверхности бедра строителя при температурах внешней среды $-20, -15, -10, -5, 0^{\circ}\text{C}$ в течение рабочей смены.

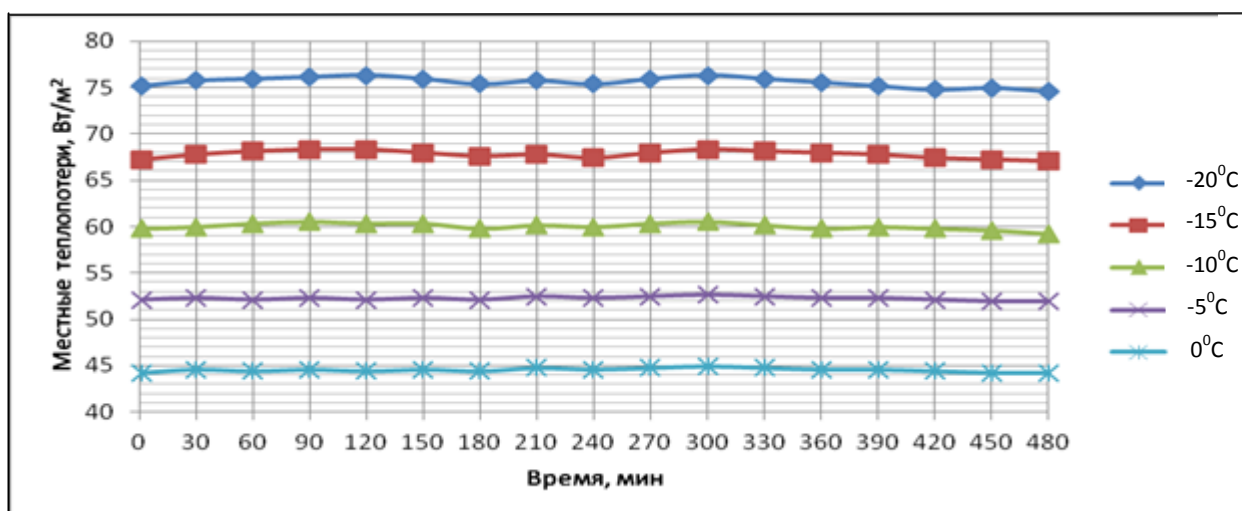


Рис. 4.13 Изменение местных теплотер с поверхности бедра строителя в электрообогреваемом комбинезоне в течение рабочей смены при различных температурах внешней среды.

Как видно из рис.4.13, наименьшее значение теплотерь с поверхности бедра строителя наблюдается в самом начале и конце рабочей смены, при всех значениях температур внешней среды.

С понижением температуры внешней среды от 0⁰С до -20⁰С теплотери с поверхности бедра возрастают примерно в 1.5-1.6 раза. Незначительное изменение теплотерь с поверхности бедра строителя при фиксированной температуре внешней среды объясняется работой терморегулятора, обеспечивающего нормальный микроклимат пододежного пространства.

На рис. 4.14 показано изменение теплотерь с поверхности стопы строителя при температурах внешней среды -20,-15,-10,-5,0⁰С в течение рабочей смены.

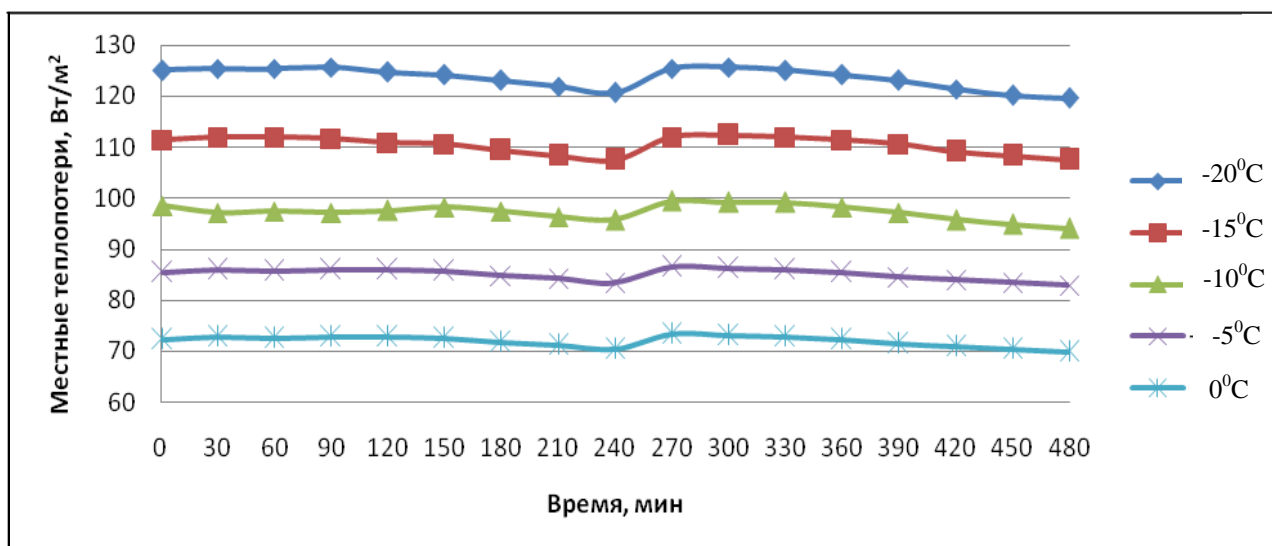


Рис. 4.14 Изменение местных теплотерь с поверхности стопы строителя в электрообогреваемом комбинезоне в течение рабочей смены при различных температурах внешней среды.

Как видно из рис. 4.14, с понижением температуры внешней среды от 0⁰С до -20⁰С теплотери с поверхности стопы возрастают примерно в 1.7-1.8 раза. Теплотери с поверхности стопы строителя постепенно уменьшаются до перерыва, затем в течение 30-и минут после перерыва резко возрастают, постепенно убывая дальнейшем до конца рабочей смены. Резкий скачок теплотерь после перерыва объясняется с выходом строителя из

теплого помещения на открытую стройплощадку. Непостоянство теплотерь с поверхности стопы объясняется отсутствием нагревательных плат в зоне стопы строителя.

На рис. 4.15 показано изменение теплотерь с поверхности кисти строителя при температурах внешней среды $-20, -15, -10, -5, 0^{\circ}\text{C}$ в течение рабочей смены.

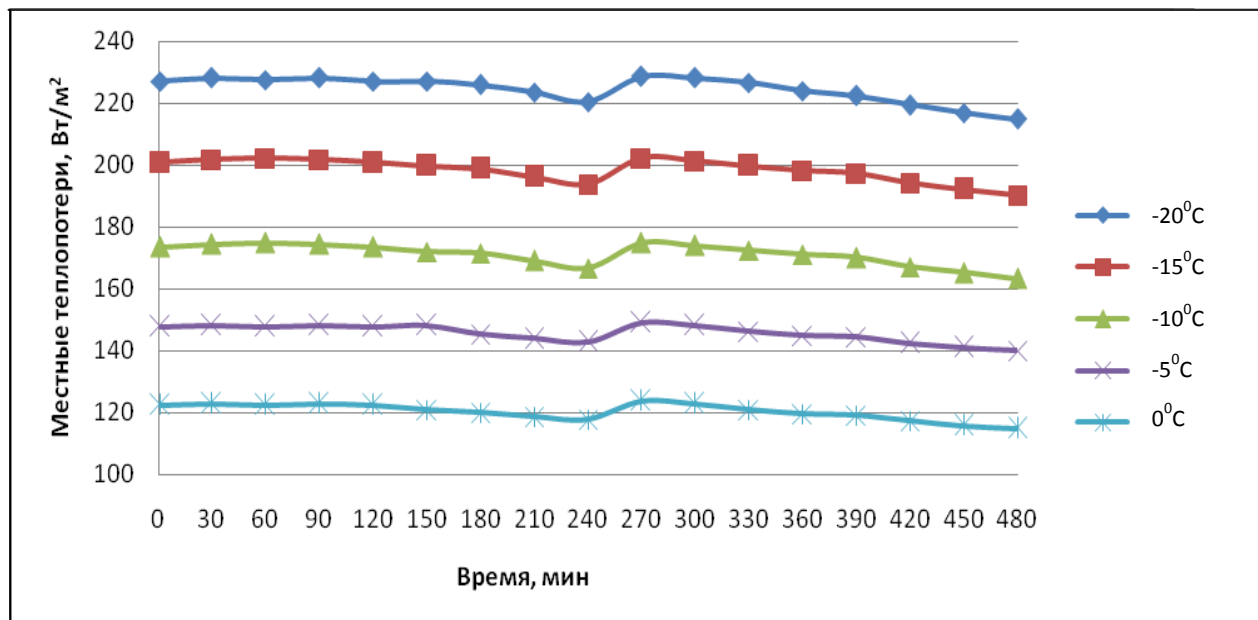


Рис. 4.15 Изменение местных теплотерь с поверхности кисти строителя в электрообогреваемом комбинезоне в течение рабочей смены при различных температурах внешней среды.

Как видно из рис. 4.15, с понижением температуры внешней среды от 0°C до -20°C теплотери с поверхности кисти возрастают примерно в 1.7-1.8 раза. Теплотери с поверхности кисти строителя постепенно уменьшаются до перерыва, затем в течение 30-и минут после перерыва резко возрастают, постепенно убывая дальнейшем до конца рабочей смены. Резкий скачок теплотерь после перерыва связан с выходом строителя из теплого помещения во внешнюю рабочую зону. Непостоянство теплотерь с поверхности стопы объясняется отсутствием нагревательных плат в зоне кисти строителя.

На рис. 4.16 показано изменение теплотерь с поверхности головы строителя при температурах внешней среды $-20, -15, -10, -5, 0^{\circ}\text{C}$ в течение рабочей смены.

Как видно из рис. 4.16, наименьшее значение теплотерь с поверхности головы строителя наблюдается в самом начале и конце рабочей смены, при всех значениях

температур внешней среды. С понижением температуры внешней среды от 0⁰C до -20⁰C теплотери с поверхности головы возрастают примерно в 1.6-1.7 раза.

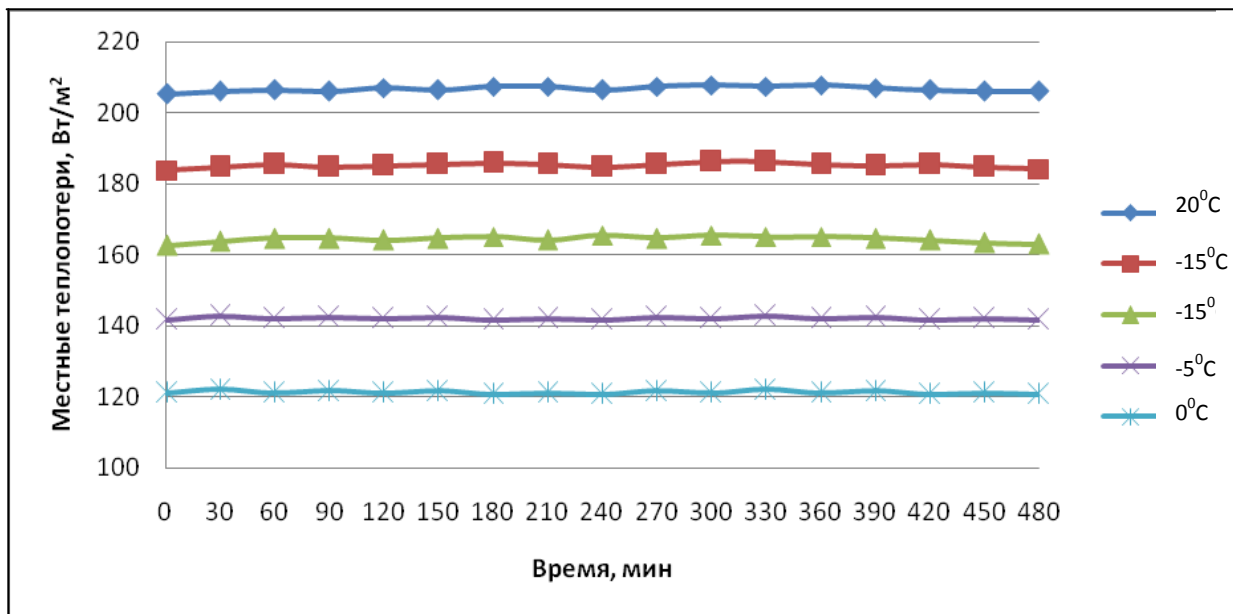


Рис. 4.16. Изменение местных теплотер с поверхности головы строителя в электрообогреваемом комбинезоне в течение рабочей смены при различных температурах внешней среды.

На рис. 4.17 показано изменение теплотер с поверхности голени строителя при температурах внешней среды -20,-15,-10,-5,0⁰C в течение рабочей смены.

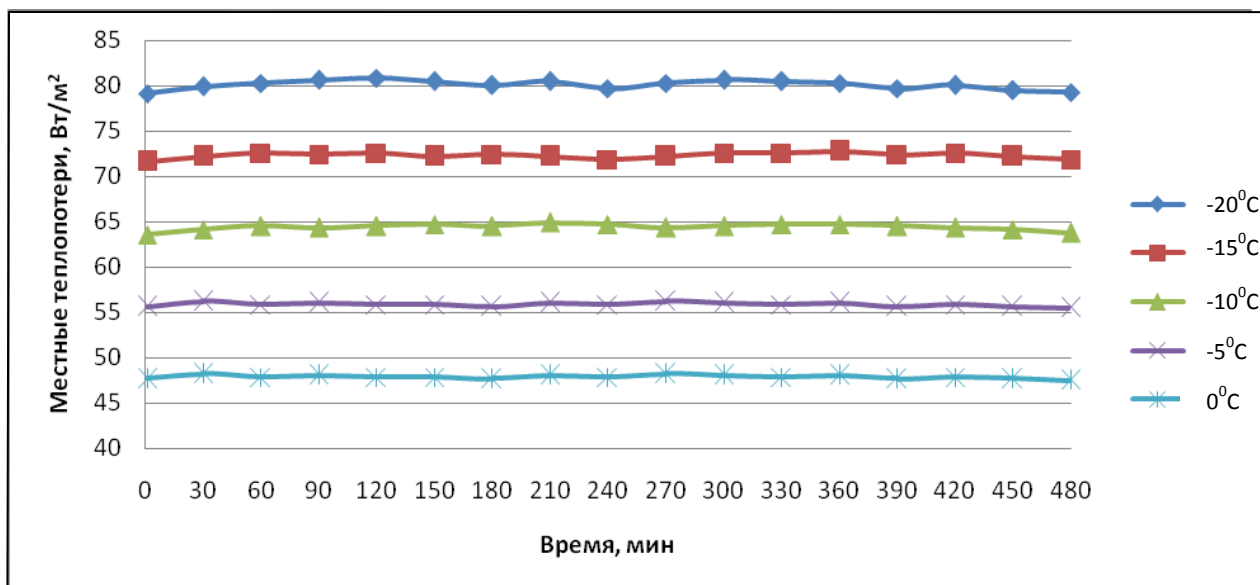


Рис. 4.17. Изменение местных теплотер с поверхности голени строителя в электрообогреваемом комбинезоне в течение рабочей смены при различных температурах внешней среды.

Как видно из рис. 4.17, наименьшее значение теплотер с поверхности голени строителя наблюдается в самом начале и конце рабочей смены, при всех значениях температур внешней среды. С понижением температуры внешней среды от 0⁰С до -20⁰С теплотери с поверхности голени возрастают примерно в 1.5-1.6 раза. Теплотери с поверхности голени строителя при фиксированной температуре внешней среды в течение рабочей смены изменяются незначительно что связано с работой терморегулятора.

4.3 Исследование динамики изменения локальных температур тела строителя в электрообогреваемом комбинезоне

Локальные температуры поверхности тела строителя, одетого в электрообогреваемый комбинезон, исследовались на 7-ми участках тела с использованием термосопротивлений марки ntc по методике, приведенной в главе 2.

Результаты исследований изменения локальных температур поверхности тела строителя в электрообогреваемом комбинезоне в течение рабочей смены при температуре внешней среды -20⁰С представлены в таблице 4.11.

Таблица 4.11.

Изменение локальных температур поверхности тела строителя в электрообогреваемом комбинезоне в течение рабочей смены при температуре внешней среды -20⁰С.

Время, мин	Туловище	Плечо	Бедро	Стопа	Кисть	Голова	Голень	Средневзвешенная значение
1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	33.5	32.9	30.6	30.3	28.4	33.5	31.5	32.97152
30	33.9	33.2	30.9	30.4	28.6	33.7	31.9	33.29988
60	34.1	33.4	31	30.4	28.5	33.8	32.1	33.44704
90	34.3	33.3	31.1	30.5	28.6	33.7	32.3	33.55172
120	34.4	33.5	31.2	30.2	28.4	33.9	32.4	33.63742
150	34.2	33.6	31	30	28.4	33.8	32.2	33.49008
180	34	33.4	30.7	29.6	28.2	34	32	33.28424
210	34.2	33.3	30.9	29.2	27.7	34	32.2	33.36158

Продолжение таблица 4.11								
1	2	3	4	5	6	7	8	9
240	33.8	33	30.7	28.8	27.1	33.8	31.8	33.0189
270	34.1	33.3	31	30.4	28.7	34	32.1	33.46036
300	34.3	33.5	31.2	30.5	28.6	34.1	32.3	33.63696
330	34.2	33.2	31	30.3	28.3	34	32.2	33.46902
360	34.1	33.2	30.8	30	27.8	34.1	32.1	33.34356
390	33.8	33.1	30.6	29.6	27.5	33.9	31.8	33.08768
420	34	33	30.4	29	26.9	33.8	32	33.04678
450	33.7	33.1	30.5	28.6	26.4	33.7	31.7	32.88656
480	33.6	32.8	30.3	28.4	26	33.7	31.6	32.72298

На рис. 4.18. показан график изменения локальных температур поверхности тела строителя в электрообогреваемом комбинезоне в течение рабочей смены при температуре внешней среды -20°C .

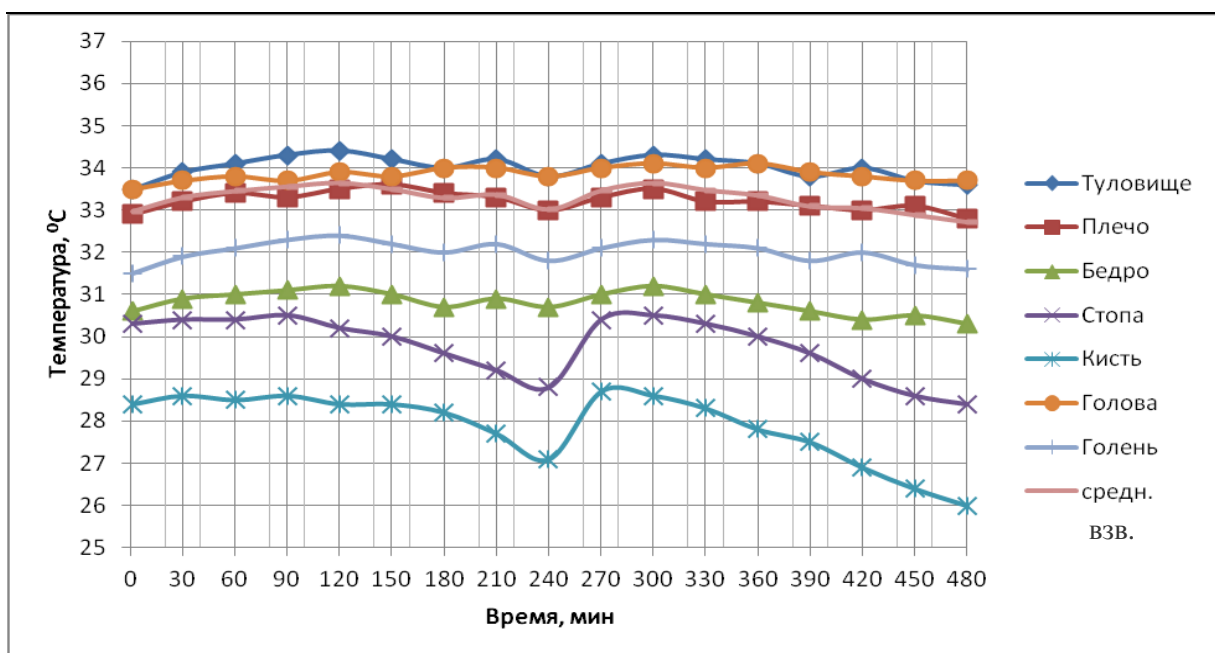


Рис. 4.18. График изменения локальных температур поверхности тела строителя в электрообогреваемом комбинезоне в течение рабочей смены при температуре внешней среды -20°C .

Исследование локальных температур тела строителя проводилось при оптимальной температуре терморегулятора, равной 32°C . Результаты исследований изменения локальных температур поверхности тела строителя в электрообогреваемом комбинезоне

в течение рабочей смены при температуре внешней среды -15°C представлены в таблице 4.12.

Таблица 4.12.

Изменение локальных температур поверхности тела строителя в электрообогреваемом комбинезоне в течение рабочей смены при температуре внешней среды -15°C .

Время, мин	Туловище	Плечо	Бедро	Стопа	Кисть	Голова	Голень	Средневзвешенная значение
1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	34	33.2	30.7	30.5	28.9	33.9	32	33.33804
30	34.3	33.5	31	30.7	29.1	34.1	32.3	33.62634
60	34.5	33.4	31.2	30.7	29.2	34.3	32.5	33.77416
90	34.4	33.6	31.3	30.6	29.1	34.1	32.4	33.7488
120	34.5	33.5	31.3	30.3	28.9	34.2	32.5	33.76244
150	34.3	33.6	31.1	30.2	28.7	34.3	32.3	33.63026
180	34.4	33.5	30.9	29.8	28.5	34.4	32.4	33.59146
210	34.3	33.3	31	29.4	28	34.3	32.3	33.48404
240	34.1	33.1	30.8	29.1	27.5	34.1	32.1	33.2587
270	34.3	33.4	31.1	30.7	29.2	34.3	32.3	33.65816
300	34.5	33.6	31.3	30.8	29	34.5	32.5	33.83912
330	34.5	33.4	31.2	30.7	28.7	34.5	32.5	33.76938
360	34.6	33.3	31.1	30.5	28.4	34.3	32.6	33.73538
390	34.4	33.2	31	30.2	28.2	34.2	32.4	33.5688
420	34.5	33.3	30.8	29.7	27.6	34.3	32.5	33.53236
450	34.3	33.2	30.7	29.4	27.2	34.1	32.3	33.34792
480	34.1	33	30.6	29.1	26.8	34	32.1	33.15894

На рис. 4.19 показан график изменения локальных температур поверхности тела строителя в электрообогреваемом комбинезоне в течение рабочей смены при температуре внешней среды -15°C .

Результаты исследований изменения локальных температур поверхности тела строителя в электрообогреваемом комбинезоне в течение рабочей смены при температуре внешней среды -10°C представлены в таблице 4.13.

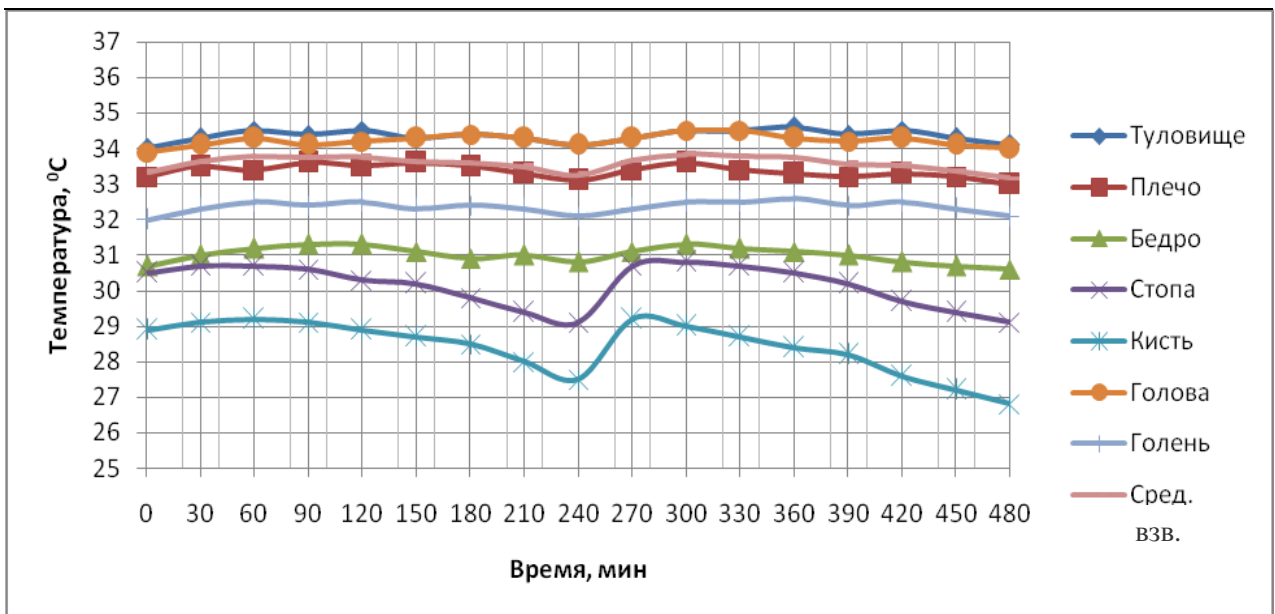


Рис. 4.19. График изменения локальных температур поверхности тела строителя в электрообогреваемом комбинезоне в течение рабочей смены при температуре внешней среды -15°C .

Таблица 4.13.

Изменение локальных температур поверхности тела строителя в электрообогреваемом комбинезоне в течение рабочей смены при температуре внешней среды -10°C .

Время, мин	Туловище	Плечо	Бедро	Стопа	Кисть	Голова	Голень	Средневзвешенная значение.
1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	34.1	33.3	31.0	30.8	29.0	34.1	32.1	33.50848
30	34.4	33.6	31.1	31.0	29.2	34.4	32.4	33.75964
60	34.6	33.5	31.3	31.1	29.3	34.6	32.6	33.9139
90	34.5	33.6	31.4	31.0	29.2	34.6	32.5	33.89286
120	34.6	33.6	31.3	30.8	29.0	34.5	32.6	33.88562
150	34.7	33.7	31.3	30.7	28.9	34.6	32.7	33.94344
180	34.6	33.5	31.0	30.4	28.6	34.7	32.6	33.77718
210	34.8	33.4	31.2	30.0	28.2	34.5	32.8	33.8413
240	34.7	33.2	31.1	29.8	27.8	34.8	32.7	33.7407
270	34.5	33.5	31.3	31.0	29.2	34.6	32.5	33.85646
300	34.6	33.6	31.4	31.1	29.0	34.8	32.6	33.95452
330	34.7	33.4	31.2	31.0	28.9	34.7	32.7	33.90842
360	34.7	33.3	31.0	30.7	28.5	34.7	32.7	33.8117

Продолжение таблицы 4.13								
1	2	3	4	5	6	7	8	9
390	34.6	33.4	31.1	30.3	28.4	34.6	32.6	33.76248
420	34.5	33.3	31	29.8	27.8	34.5	32.5	33.61152
450	34.4	33.2	30.9	29.5	27.5	34.3	32.4	33.47808
480	34.2	33.1	30.7	29.2	27	34.2	32.2	33.275

На рис. 4.20. показан график изменения локальных температур поверхности тела строителя в электрообогреваемом комбинезоне в течение рабочей смены при температуре внешней среды -10°C .

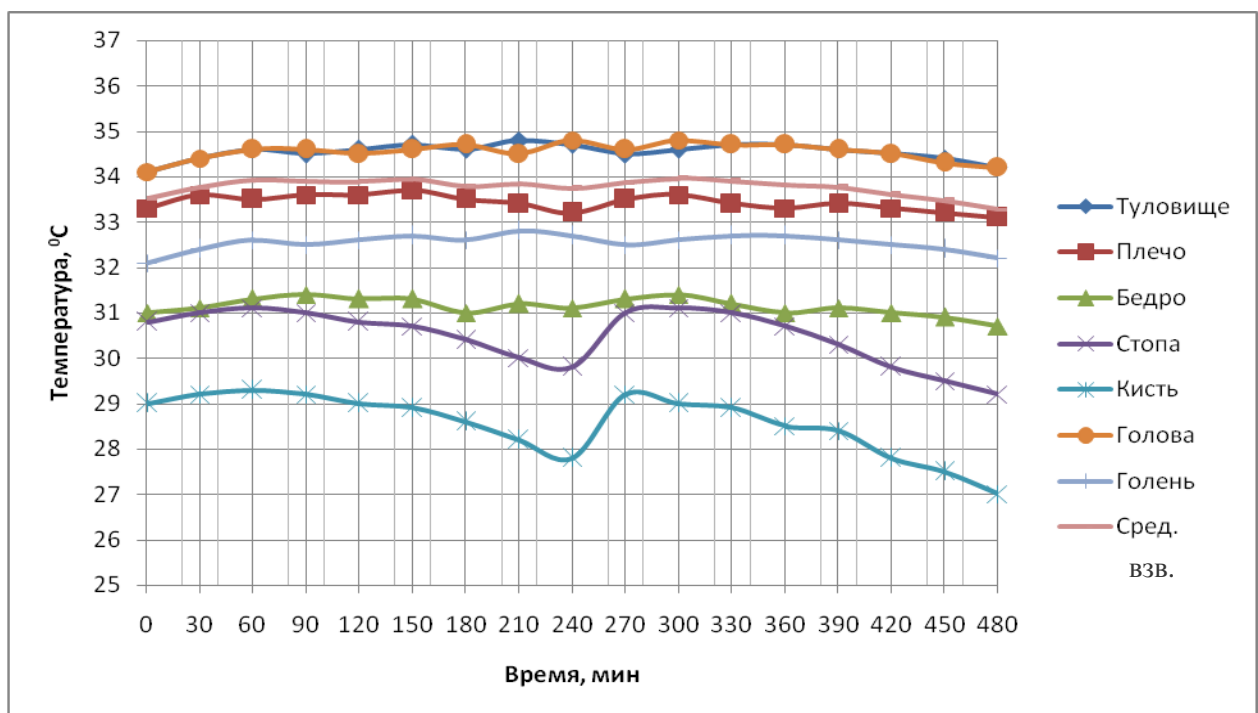


Рис. 4.20. График изменения локальных температур поверхности тела строителя в электрообогреваемом комбинезоне в течение рабочей смены при температуре внешней среды -10°C .

Результаты исследований изменения локальных температур поверхности тела строителя в электрообогреваемом комбинезоне в течение рабочей смены при температуре внешней среды -5°C представлены в таблице 4.14.

На рис. 4.21. показан график изменения локальных температур поверхности тела строителя в электрообогреваемом комбинезоне в течение рабочей смены при температуре внешней среды -5°C .

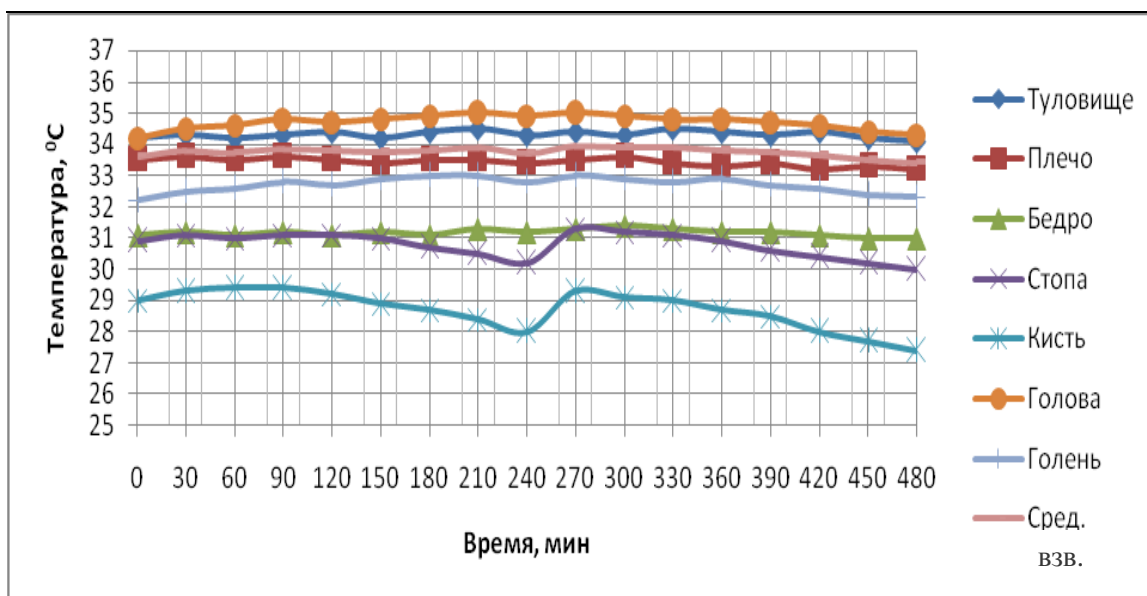


Рис. 4.21. График изменения локальных температур поверхности тела строителя в электрообогреваемом комбинезоне в течение рабочей смены при температуре внешней среды -5°C .

Таблица 4.14.

Изменение локальных температур поверхности тела строителя в электрообогреваемом комбинезоне в течение рабочей смены при температуре внешней среды -5°C .

Время, мин	Туловище	Плечо	Бедро	Стопа	Кисть	Голова	Голень	Средневзвешенная значение
1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	34.2	33.5	31.1	30.9	29	34.2	32.2	33.62008
30	34.3	33.6	31.2	31.1	29.3	34.5	32.5	33.78094
60	34.2	33.5	31.1	31	29.4	34.6	32.6	33.72996
90	34.3	33.6	31.2	31.1	29.4	34.8	32.8	33.84952
120	34.4	33.5	31.1	31.1	29.2	34.7	32.7	33.81676
150	34.2	33.4	31.2	31	28.9	34.8	32.9	33.77228
180	34.4	33.5	31.1	30.7	28.7	34.9	33	33.82372
210	34.5	33.5	31.3	30.5	28.4	35	33	33.8862
240	34.3	33.4	31.2	30.2	28	34.9	32.8	33.71062
270	34.4	33.5	31.3	31.3	29.3	35	33	33.94422
300	34.3	33.6	31.4	31.2	29.1	34.9	32.9	33.90982
330	34.5	33.4	31.3	31.1	29	34.8	32.8	33.89572
360	34.4	33.3	31.2	30.9	28.7	34.8	32.9	33.81144

Продолжение таблицы 4.14								
1	2	3	4	5	6	7	8	9
390	34.3	33.4	31.2	30.6	28.5	34.7	32.7	33.72866
420	34.4	33.2	31.1	30.4	28	34.6	32.6	33.65612
450	34.2	33.3	31	30.2	27.7	34.4	32.4	33.50942
480	34.1	33.2	31	30	27.4	34.3	32.3	33.41428

Результаты исследований изменения локальных температур поверхности тела строителя в электрообогреваемом комбинезоне в течение рабочей смены при температуре внешней среды 0⁰С представлены в таблице 4.15.

Таблица 4.15

Изменение локальных температур поверхности тела строителя в электрообогреваемом комбинезоне в течение рабочей смены при температуре внешней среды 0⁰С .

Время, мин	Туловище	Плечо	Бедро	Стопа	Кисть	Голова	Голень	Средневзвешенная значение
1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	34.1	33.4	31	31	29.2	34.4	32.4	33.60784
30	34.3	33.6	31.2	31.2	29.5	34.6	32.6	33.81774
60	34.2	33.5	31.1	31.1	29.6	34.7	32.8	33.77926
90	34.3	33.6	31.2	31.2	29.7	34.9	32.9	33.89082
120	34.4	33.5	31.1	31.1	29.5	34.8	32.8	33.85162
150	34.2	33.4	31.2	31	29.2	34.9	33	33.80714
180	34.4	33.5	31.1	30.9	29	34.9	33.2	33.8751
210	34.5	33.5	31.3	30.7	28.6	35	33.1	33.92058
240	34.3	33.4	31.2	30.4	28.4	35.1	33	33.78422
270	34.4	33.5	31.3	31.3	29.5	35	33.1	33.96572
300	34.3	33.6	31.4	31.2	29.3	34.9	33	33.93132
330	34.5	33.4	31.3	31.3	29.3	34.8	32.9	33.9346
360	34.4	33.3	31.2	31	29.1	34.9	33	33.85724
390	34.3	33.4	31.2	30.7	29	34.7	32.9	33.7826
420	34.4	33.2	31.1	30.5	28.7	34.6	32.8	33.71906
450	34.2	33.3	31	30.4	28.5	34.5	32.7	33.60466
480	34.1	33.2	31	30.3	28.3	34.4	32.6	33.52046

На рис. 4.22. показан график изменения локальных температур поверхности тела строителя в электрообогреваемом комбинезоне в течение рабочей смены при температуре внешней среды 0 °С.

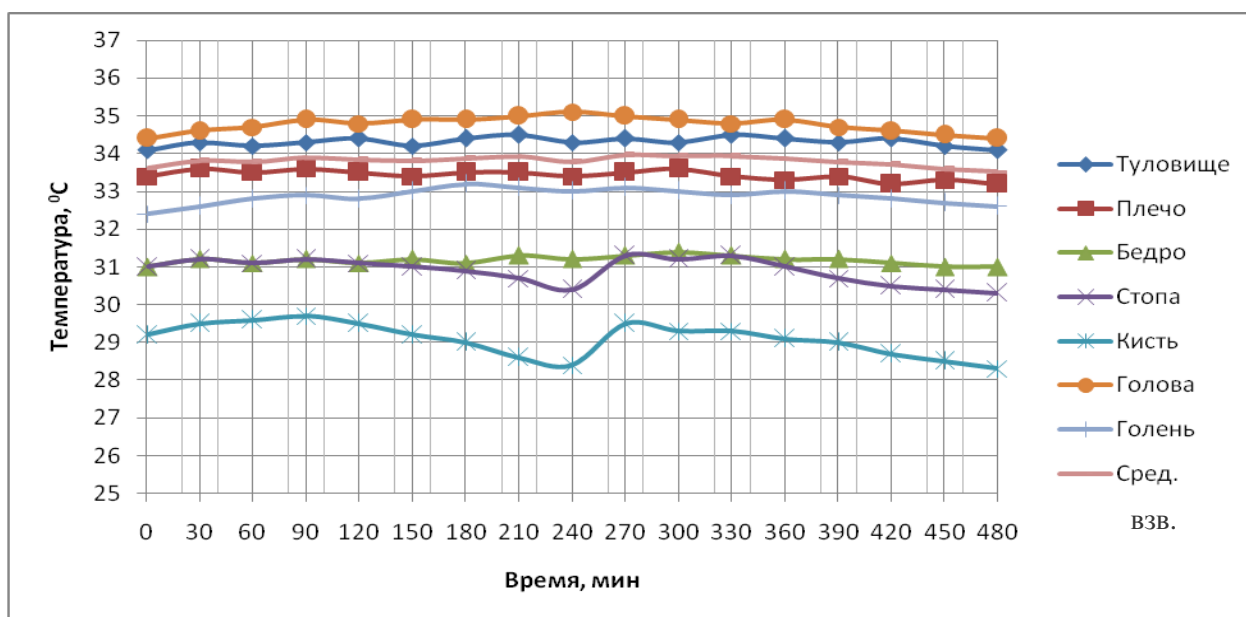


Рис. 4.22. График изменения локальных температур поверхности тела строителя в электрообогреваемом комбинезоне в течение рабочей смены при температуре внешней среды 0 °С.

На рис. 4.23. показан график изменения температуры поверхности туловища строителя в течение рабочей смены при различных температурах внешней среды.

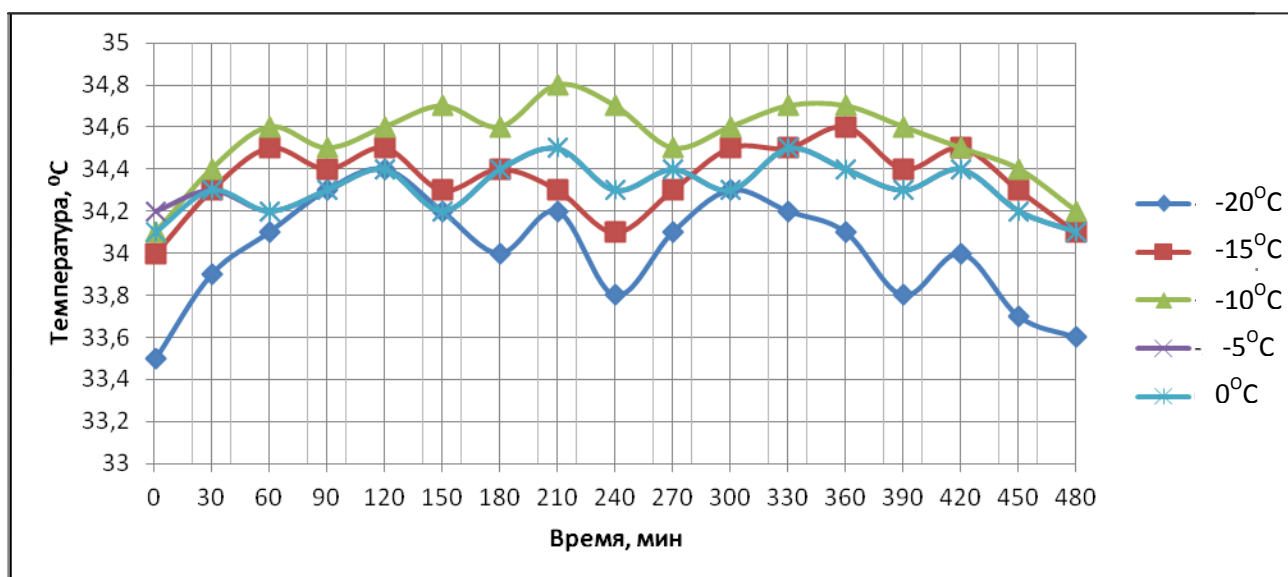


Рис. 4.23. График изменения температуры поверхности туловища строителя в течение рабочей смены при различных температурах внешней среды.

Как видно из рис. 4.23., наименьшее значение температуры поверхности туловища строителя наблюдается в самом начале и конце рабочей смены при всех значениях температуры внешней среды. С понижением температуры внешней среды от 0°C до -20°C температура поверхности туловища возрастает примерно на 0.5...0.6 °C. Температура туловища строителя при фиксированной температуре внешней среды в течение рабочей смены изменяется скачкообразно, но незначительно, что связано с работой терморегулятора.

На рис. 4.24 показан график изменения температуры поверхности плеча строителя в течение рабочей смены при различных температурах внешней среды.

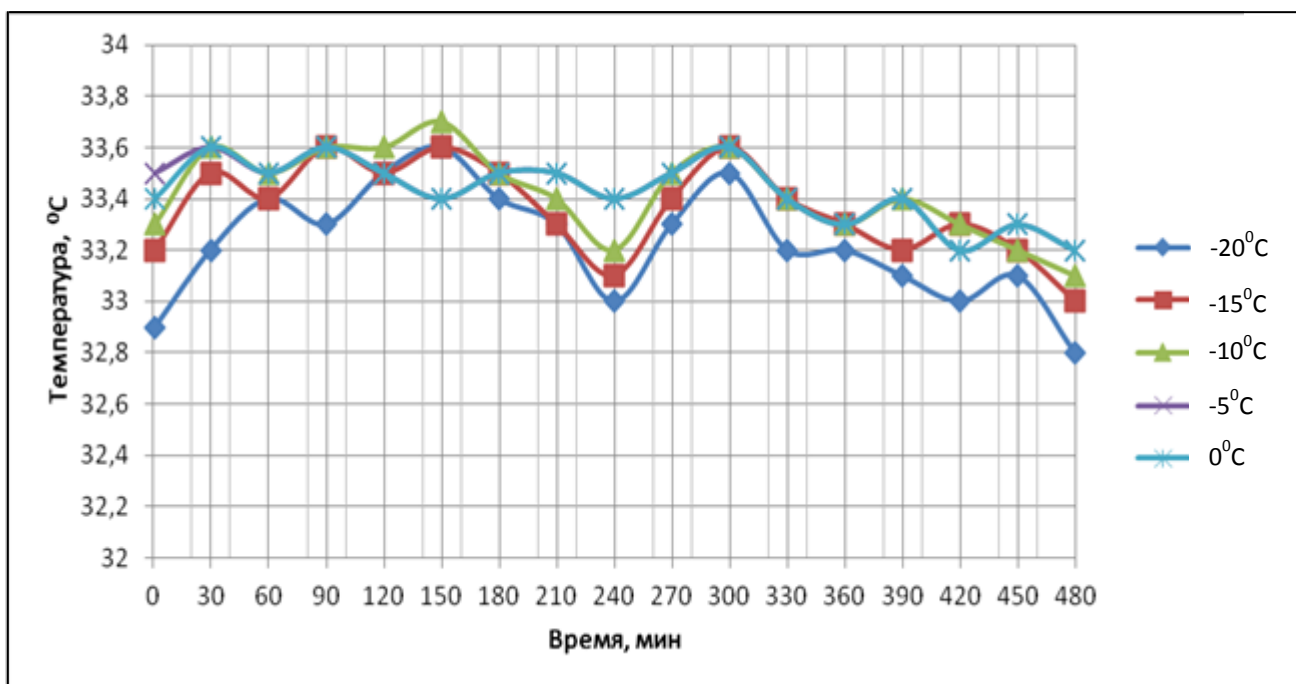


Рис. 4.24 График изменения температуры поверхности плеча строителя в течение рабочей смены при различных температурах внешней среды.

Как видно из рис. 4.24, наименьшее значение температуры плеча строителя наблюдается в самом начале и конце рабочей смены при всех значениях температуры внешней среды. С понижением температуры внешней среды от 0°C до -20°C температура плеча строителя возрастает примерно на 0.5-0.6 °C. Температура плеча строителя при фиксированной температуре внешней среды в течение рабочей смены изменяется незначительно, что связано с работой терморегулятора.

На рис. 4.25 показан график изменения температуры поверхности бедра строителя в течение рабочей смены при различных температурах внешней среды.

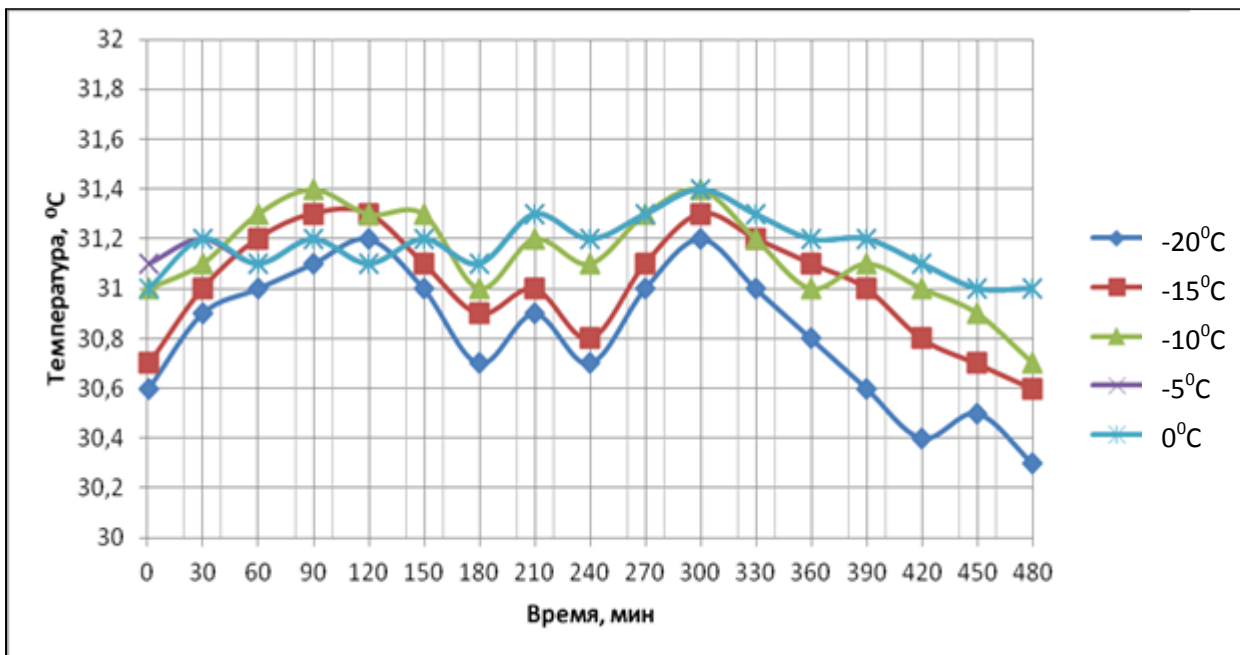


Рис. 4.25 График изменения температуры поверхности бедра строителя в течение рабочей смены при различных температурах внешней среды

Как видно из рис. 4.25, наименьшее значение температуры бедра строителя наблюдается в самом начале и конце рабочей смены, при всех значениях температуры внешней среды. С понижением температуры внешней среды от 0°C до -20°C температура бедра возрастает примерно на 0.5-0.6 °C. Температура бедра строителя при фиксированной температуре внешней среды в течение рабочей смены изменяется незначительно, что связано с работой терморегулятора.

На рис. 4.26 показан график изменения температуры поверхности стопы строителя в течение рабочей смены при различных температурах внешней среды.

Как видно из рис. 4.26, наименьшее значение температуры стопы строителя наблюдается в самом конце рабочей смены, при всех значениях температуры внешней среды. С понижением температуры внешней среды от 0°C до -20°C температура стопы возрастает примерно на 1.5-2 °C, что объясняется с отсутствием обогреваемых плат на этом участке.

На рис. 4.27 показан график изменения температуры поверхности кисти строителя в течение рабочей смены при различных температурах внешней среды.

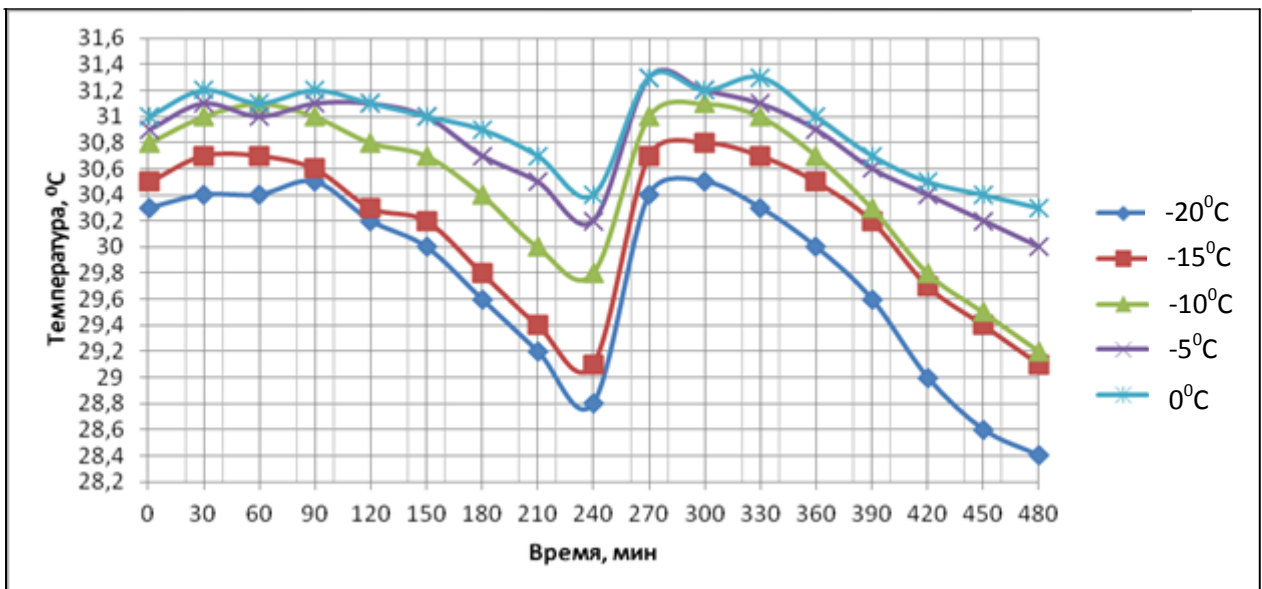


Рис. 4.26 График изменения температуры поверхности стопы строителя в течение рабочей смены при различных температурах внешней среды.

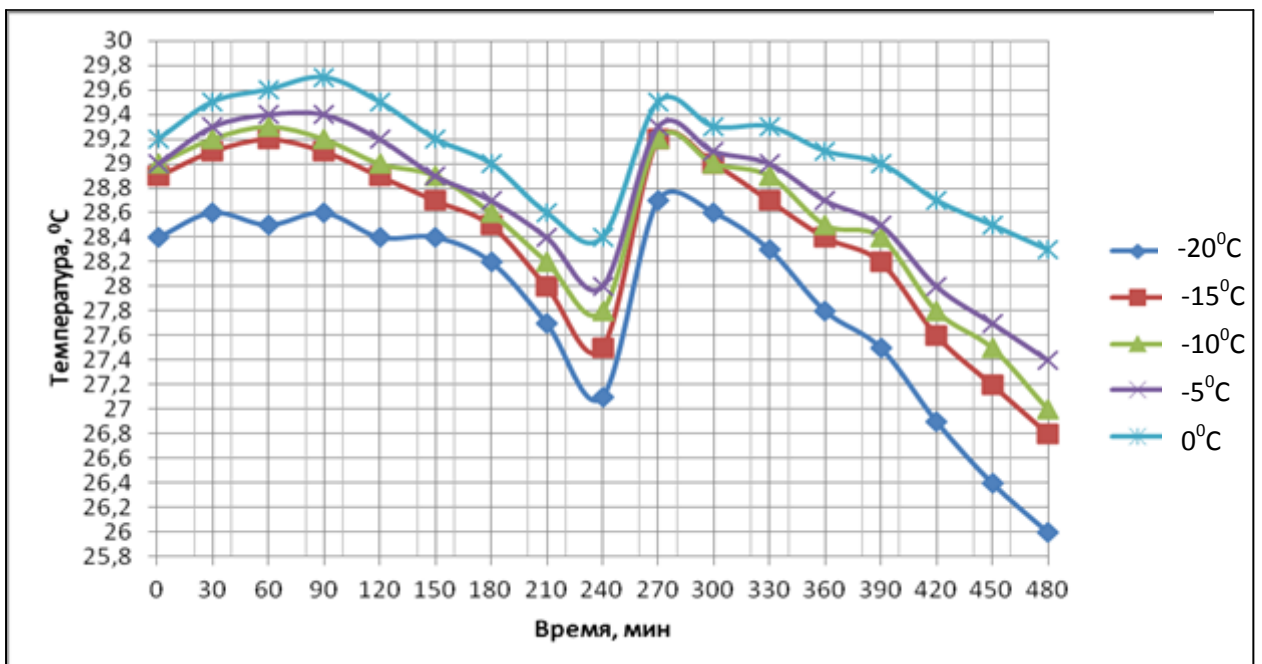


Рис. 4.27 График изменения температуры поверхности кисти строителя в течение рабочей смены при различных температурах внешней среды.

Как видно из рис. 4.27, наименьшее значение температуры кисти строителя наблюдается в самом конце рабочей смены, при всех значениях температуры внешней среды. С понижением температуры внешней среды от 0°C до -20°C температура стопы озрастает примерно на 2-2,5 °C, что объясняется отсутствием обогреваемых плат на этом участке.

На рис. 4.28 показан график изменения температуры поверхности головы строителя в течение рабочей смены при различных температурах внешней среды.

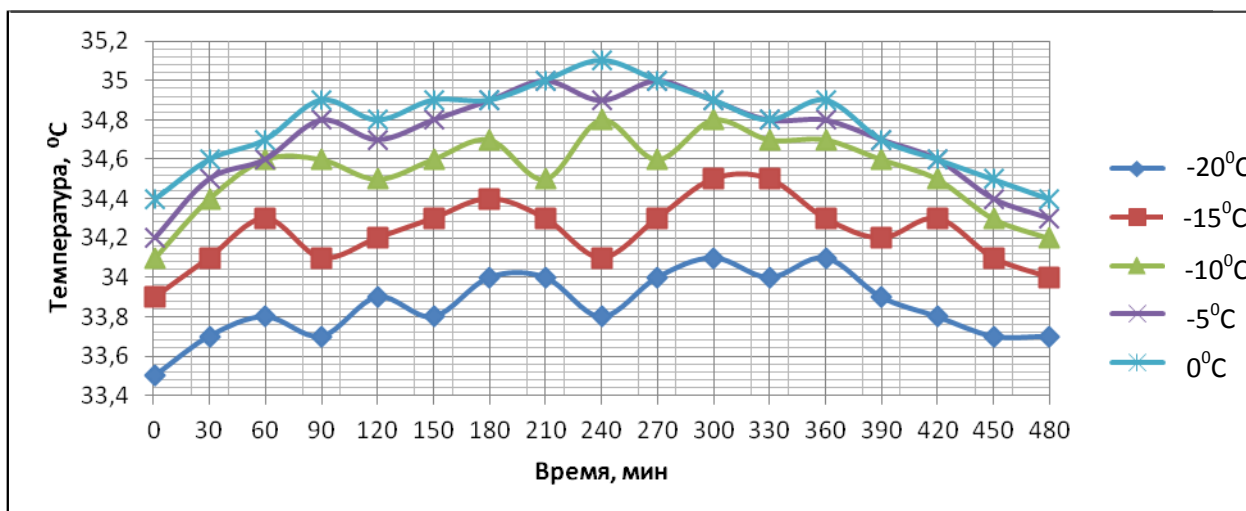


Рис. 4.28 График изменения температуры поверхности головы строителя в течение рабочей смены при различных температурах внешней среды.

Как видно из рис. 4.28, наименьшее значение температуры головы строителя наблюдается в самом конце рабочей смены, при всех значениях температуры внешней среды. С понижением температуры внешней среды от 0°C до -20°C температура головы возрастает примерно на 0.5 - 1°C.

На рис. 4.29 показан график изменения температуры поверхности голени строителя в течение рабочей смены при различных температурах внешней среды.

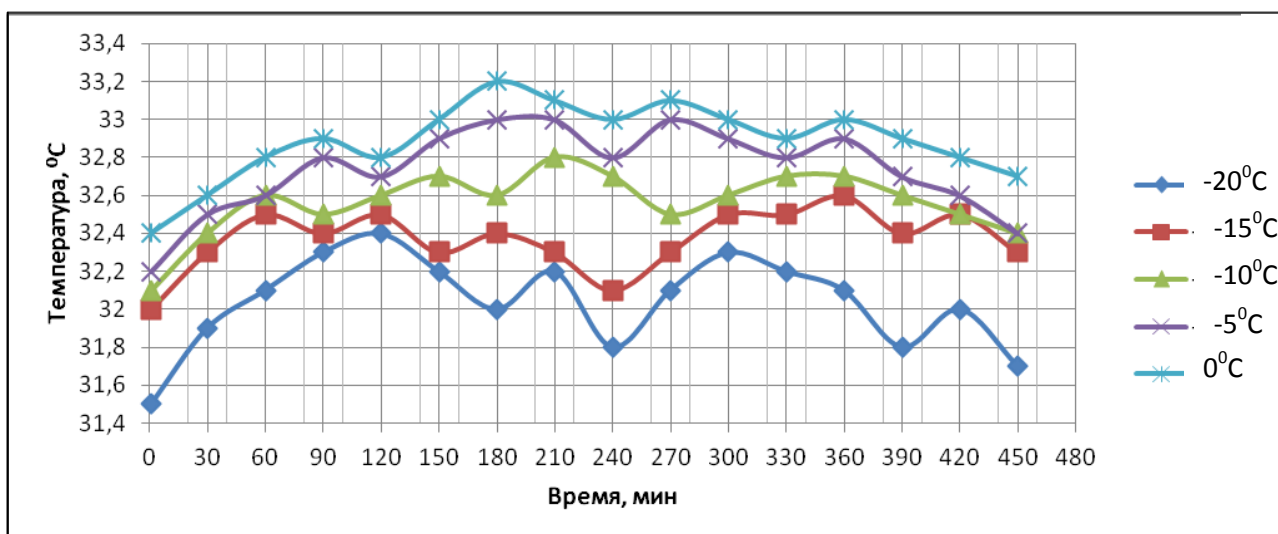


Рис. 4.29 График изменения температуры поверхности голени строителя в течение рабочей смены при различных температурах внешней среды.

Как видно из рис. 4.29, наименьшее значение температуры голени строителя наблюдается в самом начале и конце рабочей смены, при всех значениях температуры внешней среды. С понижением температуры внешней среды от 0°C до -20°C температура голени возрастает примерно на $0.5-0.8^{\circ}\text{C}$. Температура голени строителя при фиксированной температуре внешней среды в течение рабочей смены изменяется незначительно, что связано с работой терморегулятора.

На рис. 4.30 показан график изменения средневзвешенной температуры поверхности тела строителя в течение рабочей смены при различных температурах внешней среды.

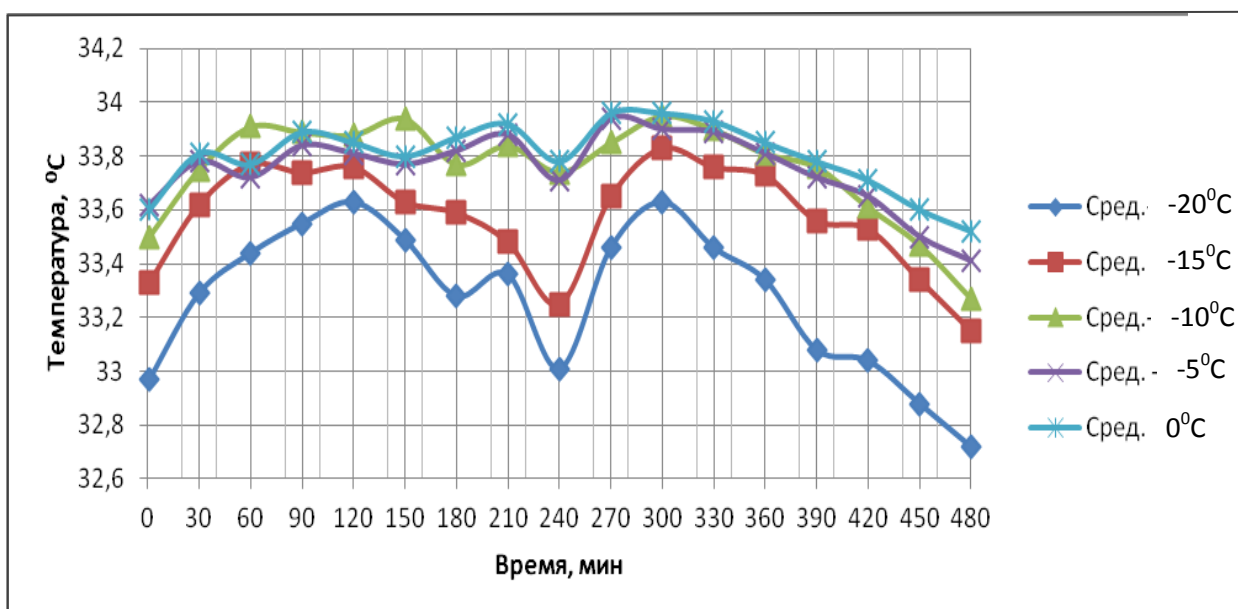


Рис. 4.30 График изменения средневзвешенной температуры поверхности тела строителя в течение рабочей смены при различных температурах внешней среды.

Как видно из рис. 4.30, наибольшее скачкообразное изменение средневзвешенной температуры поверхности тела строителя наблюдается при температуре внешней среды -20°C . В первый период рабочей смены средневзвешенная температура тела строителя постепенно возрастает, а затем к перерыву падает. После перерыва наблюдается та же картина.

На рис. 4.31 показано сравнение локальных температур различных участков поверхности тела строителя в электрообогреваемом и в обычном необогреваемом комбинезоне при температуре внешней среды -10°C . Данные для обычного комбинезона взяты согласно работе [40].

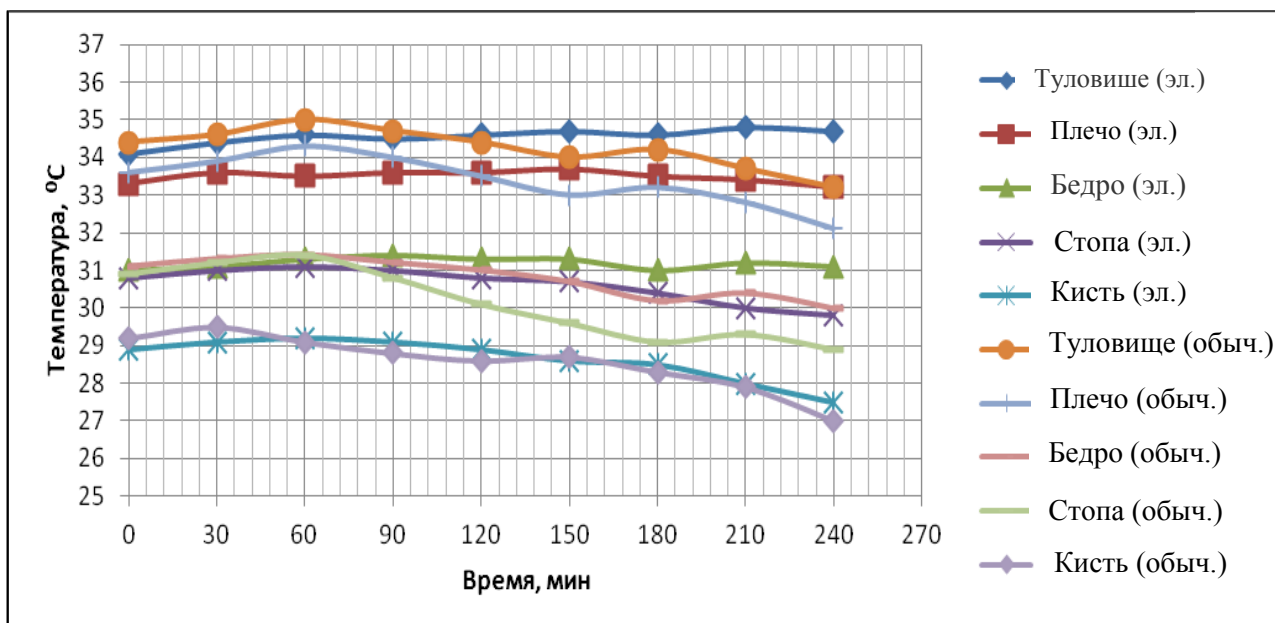


Рис. 4.31. Сравнение локальных температур различных участков поверхности тела строителя в электрообогреваемом и в обычном комбинезоне при температуре внешней среды -10°C .

Как видно из результатов сравнения, обычный комбинезон обеспечивает комфортный тепловой режим строителя только в самом начале работы. После 2-х часовой работы строителя комфортный тепловой режим в обычном комбинезоне нарушается, т.е. температура поверхности тела строителя резко падает. Электрообогреваемый комбинезон обеспечивает комфорт на протяжении 4-х часов работы строителя.

4.4 Исследование средних температур на поверхностях отдельных слоев белья и электрообогреваемого комбинезона

Средняя температура на поверхностях отдельных слоев белья и электрообогреваемого комбинезона определялась по методике, изложенной в главе 2. В таблице 4.16 приведены материалы слоев белья и электрообогреваемого комбинезона с указанием их толщин, коэффициента теплопроводности и воздухопроницаемости.

На рис. 4.32. представлена схема слоев белья и электрообогреваемого комбинезона.

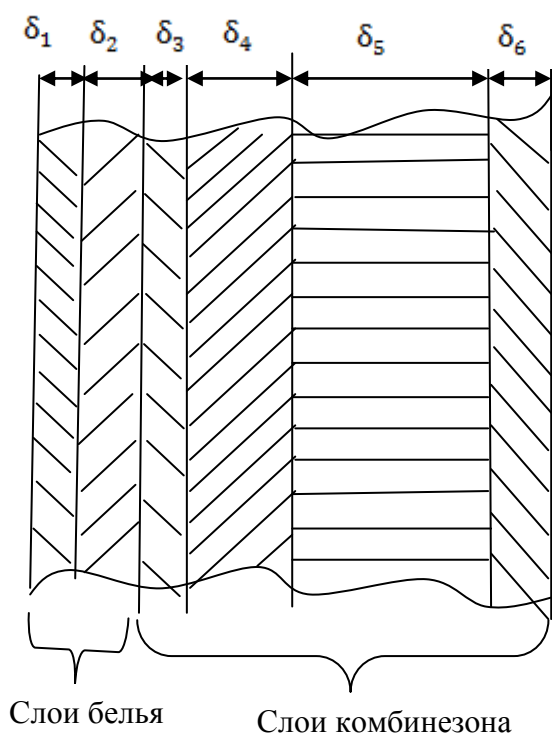
В таблице 4.17. представлены значения средних температур на поверхностях отдельных слоев белья и электрообогреваемого комбинезона, полученных с помощью

проградуированных терморезисторов, установленных на 5-ти участках поверхностей белья и комбинезона, через 2 часа после начала работы строителя при различных температурах внешней среды.

Таблица 4.16.

Материалы, толщины, теплопроводность и воздухопроницаемость слоев белья и электрообогреваемого комбинезона

Наименование и материал слоя	Толщина слоя, δ , 10-3 м	Теплопроводность, λ Вт/(мК)	Воздухопроницаемость, В дм ³ /м ²
2	3	4	5
1. Байка (белье),	0.6	0.05	90
2. Байка с начесом, (белье)	0.95	0.05	90
3. Дубль сатин (комбинезон)	0.18	0.048	90
4. Бязь, (комбинезон)	0.39	0.0495	100
5. Синтепон, (комбинезон)	10	0.03	68.6
6. Дублированная поливинилхлоридная ткань (комбинезон)	0.17	0.037	8



Отсчет слоев проведен от поверхности тела строителя. Строитель выполняет работу средней тяжести в электрообогреваемом комбинезоне. Скорость ветра при испытаниях составляла 2-3 м/с, относительная влажность воздуха 40-80%.

Как видно, средняя температура поверхностей отдельных слоев белья и электрообогреваемого комбинезона после двух часов работы строителя понижается с уменьшением температуры внешней среды от 0 °С до -20°С.

Рис. 4.32. Схема слоев белья и электрообогреваемого комбинезона

Таблица 4.17.

Средняя температура на поверхностях отдельных слоев белья и электрообогреваемого комбинезона при различных температурах внешней среды °С.

N слоя	Поверхность	Температура, °С				
		-20	-15	-10	-5	0
1	2	3	4	5	6	7
1	левая	36,5	36,5	36,5	36,5	36,5
	правая	34,78	34,96	35,13	35,3	35,48
2	левая	34,78	34,96	35,13	35,3	35,48
	правая	32,06	32,52	32,96	33,41	33,86
3	левая	32,06	32,52	32,96	33,41	33,86
	правая	31,54	32,06	32,55	33,05	33,55
4	левая	31,54	32,06	32,55	33,05	33,55
	правая	30,42	31,06	31,66	32,28	32,89
5	левая	30,42	31,06	31,66	32,28	32,89
	правая	0,88	5,3	8,79	12,31	15,82
6	левая	0,88	5,3	8,79	12,31	15,82
	правая	0,4	4,87	8,4	11,97	15,53

Средняя температура на наружном слое электрообогреваемого комбинезона позволяет определить коэффициент теплоотдачи с поверхности тела строителя при различных температурах внешней среды. Он изменяется в пределах 9…10 Вт/(м²К).

ВЫВОДЫ

1. Выявлено, что наиболее рациональной теплозащитной одеждой для строителя может служить одежда, обогреваемая внутренними источниками тепла.
2. Доказано, что оптимальной температурой терморегулятора для строителя в электрообогреваемом комбинезоне при температурах внешней среды -20°С, -15 °С и -10°С является 32 °С, при температуре -5 °С ----30°С и при температуре 0 °С ----- 28 °С, которые обеспечивают комфортный микроклимат пододежного пространства.
3. Установлено, что при всех исследованных температурах внешней среды, напряжение на клеммах аккумуляторной батареи уменьшается с течением времени как до перерыва строителя, так и после него, причем скорость изменения напряжения возрастает с понижением температуры внешней среды.

4. Получено, что наименьшее значение теплотер с поверхности туловища строителя наблюдается в самом начале и конце рабочей смены строителя, при всех значениях температур внешней среды.

5. Выяснено, что с понижением температуры внешней среды от 0°C до -20°C теплотери с поверхности всех участков тела строителя возрастают примерно в 1.5-1.8 раза. Теплотери с поверхности туловища, плеча и бедра строителя при фиксированной температуре внешней среды в течение рабочей смены изменяются незначительно, что связано с работой терморегулятора, а теплотери с поверхности стопы и кисти изменяются в значительных пределах, что связано с отсутствием нагревательных плат на этих участках тела.

6. Доказано, что наименьшее значение температуры поверхности туловища, плеча и бедра строителя наблюдается в самом начале и конце рабочей смены при всех значениях температур внешней среды. С понижением температуры внешней среды от 0°C до -20°C температура поверхности туловища, плеча и бедра строителя уменьшается примерно на $0.5...0.6^{\circ}\text{C}$, а температура поверхности стопы и кисти уменьшается на $1,5-2,0^{\circ}\text{C}$, что связано с отсутствием нагревательных плат на этих участках тела. Температура туловища, плеча и бедра строителя при фиксированной температуре внешней среды в течение рабочего дня изменяется скачкообразно, но незначительно, что связано с работой терморегулятора.

7. Получено, что средняя температура поверхностей отдельных слоев белья и электрообогреваемого комбинезона после двух часов работы строителя понижается с уменьшением температуры внешней среды от 0°C до -20°C .

8. Средняя температура на наружном слое электрообогреваемого комбинезона позволяет определить коэффициент теплоотдачи с поверхности тела строителя при различных температурах внешней среды, который изменяется в пределах $9...10 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$.

ГЛАВА 5. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОПЕРЕНОСНЫХ ПРОЦЕССОВ В ЭЛЕКТРООБОГРЕВАЕМЫХ КОМБИНЕЗОНАХ И ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРООБОГРЕВА

5.1 Моделирование теплотерь с поверхности тела строителя в электрообогреваемом комбинезоне 2

Как было указано, одежда с термическим сопротивлением $1,1(\text{м}^2\text{К})/\text{Вт}$ в условиях производственной деятельности не может быть использована вследствие большой массы и толщины, ограничивающих подвижность человека и его работоспособность.

Поэтому разработка способов внутреннего электрообогрева и конструкций производственной одежды, позволяющей обеспечить соответствующее тепловое состояние человека при одновременном уменьшении массы одежды и расхода материалов, представляет собой актуальную задачу.

В рамках диссертационной работы показана эффективность применения внутреннего электрообогрева комбинезона 2 для строителя путем сравнения теплотерь с поверхности тела человека при наличии и отсутствии обогрева и неизменной конструкции одежды и параметров внешней среды.

Рассматриваемый комбинезон 2 эксплуатируется при температуре воздуха $t_f = -10^\circ\text{C}$, закрывает участок тела с площадью поверхности $S = 1,12 \text{ м}^2$ и обогревается токопроводящими графитированными лентами (эластичными электронагревателями) мощностью $P = 35 \text{ Вт}$. В качестве источников питания используются аккумуляторные батареи, которые периодически подзаряжаются от электросети переменного тока во время перерыва строителя. Наименование слоев одежды, их теплопроводность, воздухопроницаемость и толщина приведены в таблице 5.1.

Нумерация слоев производится в направлении от тела человека к внешней среде (воздуху).

На рис. 5.1 показаны конструкция комбинезона 2 и температурные поля в ней при отсутствии электрообогрева (сплошная линия) и его наличии (пунктирная линия).

Таблица 5.1

Наименования слоев одежды, теплопроводность, воздухопроницаемость и толщина

N	Наименование слоя	Толщина слоя, $\times 10^{-3}$ м	Теплопроводность Вт/м ²	Воздухопроницаемость дм ³ /м ²
1	2	3	4	5
1	Бельевая ткань (байка)	$\delta_1 = 2.6$	0.05	90
2	Сорочечная ткань	$\delta_2 = 1.21$	0.05	90
3	Подкладочная ткань	$\delta_3 = 0.35$	0.048	90
4	Костюмная шерстяная ткань (бостон)	$\delta_4 = 1.2$	0.031	100
5	Прокладочная ткань	$\delta_5 = 0.35$	0.048	90
6	Ватин полушерстяной трикотажный (2 слоя)	$\delta_6 = 5.68$	0.031	80
7	Сукно шинельное	$\delta_7 = 3.33$	0.0495	80

Определим теплотери с поверхности тела человека в комбинезона 2 для следующих двух случаев:

1. В одежде отсутствует внутренний электрообогрев;
2. В слое „ 6 „, расположены эластичные электронагреватели, которые рассматриваются как внутренние источники теплоты с мощностью q_v .

Случай 1. Определим удельные теплотери с поверхности тела человека, принимая, что тепловой режим является установившимся, а на поверхности одежды, контактирующей с телом человека, поддерживается температура $t_{w1} = 33.5^0 C$.

Удельные теплотери определяются согласно законам Фурье и Ньютона-Рихмана [53,54,56, 92-94]:

$$q = \frac{t_{w1} - t_f}{\frac{1}{\alpha} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i}} = \frac{33.5 - (-10)}{0.1 + \frac{14.72 \cdot 10^{-3}}{0.0495}} = 109.57 \left[\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2} \right]$$

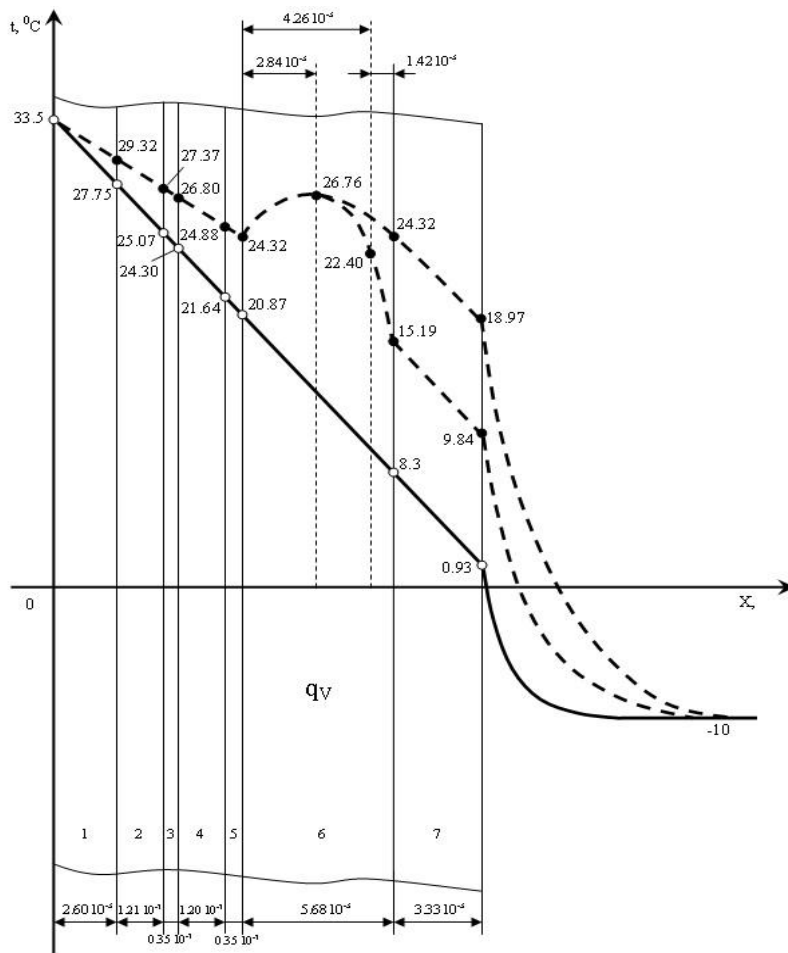


Рис. 5.1 Конструкция комбинезона 2 и температурные поля в ней.

где $\alpha = 10 \cdot \left[\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} \right]$ - коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности одежды; $\frac{\delta_i}{\lambda_i}$ -

термическое сопротивление теплопроводности i -ого слоя одежды, $\left[\frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}} \right]$; δ_i и λ_i -

соответственно толщина и коэффициент теплопроводности i -ого слоя одежды, [м] и $\left[\frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}} \right]$;

n -количество слоев в одежде ($n=7$). Как показывают имеющиеся литературные данные, можно принять:

$$\lambda_i = 0.0495 \left[\frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}} \right],$$

Определим температуры на поверхностях слоев одежды:

$$t_{w2} = t_{w1} - q \cdot \frac{\delta_1}{\lambda_i} = 33.5 - 109.57 \cdot \frac{2.6 \cdot 10^{-3}}{0.0495} = 27.75^\circ \text{C}$$

$$t_{w3} = t_{w2} - q \cdot \frac{\delta_2}{\lambda_i} = 27.75 - 109.57 \cdot \frac{1.21 \cdot 10^{-3}}{0.0495} = 25.07^{\circ}C$$

$$t_{w4} = t_{w3} - q \cdot \frac{\delta_3}{\lambda_i} = 25.07 - 109.57 \cdot \frac{0.35 \cdot 10^{-3}}{0.0495} = 24.30^{\circ}C$$

$$t_{w5} = t_{w4} - q \cdot \frac{\delta_4}{\lambda_i} = 24.30 - 109.57 \cdot \frac{1.2 \cdot 10^{-3}}{0.0495} = 21.64^{\circ}C$$

$$t_{w6} = t_{w5} - q \cdot \frac{\delta_5}{\lambda_i} = 21.64 - 109.57 \cdot \frac{0.35 \cdot 10^{-3}}{0.0495} = 20.87^{\circ}C$$

$$t_{w7} = t_{w6} - q \cdot \frac{\delta_6}{\lambda_i} = 20.87 - 109.57 \cdot \frac{5.68 \cdot 10^{-3}}{0.0495} = 8.30^{\circ}C$$

$$t_{w8} = t_{w7} - q \cdot \frac{\delta_7}{\lambda_i} = 8.30 - 109.57 \cdot \frac{3.33 \cdot 10^{-3}}{0.0495} = 0.93^{\circ}C$$

Случай 2. Определим мощность внутренних источников теплоты, расположенных в

слое „6” комбинезона 2:
$$q_v = \frac{p}{S \cdot \delta_6} = \frac{35}{1.12 \cdot 5.68 \cdot 10^{-3}} = 5282 \left[\frac{\text{Вт}}{\text{м}^3} \right]$$

Тепловой потоки, возникающей вследствие действия внутренних источников теплоты, будет направлен по оси Ох навстречу удельным теплотерям, а его средняя плотность определится по формуле (2):

$$q_0 = q_v \cdot \delta_6 = 5282 \cdot 5.68 \cdot 10^{-3} = 30 \left[\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2} \right]$$

Суммарные удельные теплотерии с поверхности тела строителя в электрообогреваемом комбинезоне 2 составят:

$$q_c = q - q_0 = 109.57 - 30 = 79.57 \left[\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2} \right]$$

Температуры на поверхностях слоев одежды будут равны:

$$t_{w1} = t'_{w1} = 33.5^{\circ}C$$

$$t'_{W2} = t'_{W1} - q_c \cdot \frac{\delta_1}{\lambda_i} = 33.5 - 79.57 \cdot \frac{2.6 \cdot 10^{-3}}{0.0495} = 29.32^{\circ} C$$

$$t'_{W3} = t'_{W2} - q_c \cdot \frac{\delta_2}{\lambda_i} = 29.32 - 79.57 \cdot \frac{1.21 \cdot 10^{-3}}{0.0495} = 27.37^{\circ} C$$

$$t'_{W4} = t'_{W3} - q_c \cdot \frac{\delta_3}{\lambda_i} = 27.37 - 79.57 \cdot \frac{0.35 \cdot 10^{-3}}{0.0495} = 26.80^{\circ} C$$

$$t'_{W5} = t'_{W4} - q_c \cdot \frac{\delta_4}{\lambda_i} = 26.80 - 79.57 \cdot \frac{1.2 \cdot 10^{-3}}{0.0495} = 24.88^{\circ} C$$

$$t'_{W6} = t'_{W5} - q_c \cdot \frac{\delta_5}{\lambda_i} = 24.88 - 79.57 \cdot \frac{0.35 \cdot 10^{-3}}{0.0495} = 24.32^{\circ} C$$

$$t'_{W7} = t'_{W6} - q_c \cdot \frac{\delta_6}{\lambda_i} = 24.32 - 79.57 \cdot \frac{5.68 \cdot 10^{-3}}{0.0495} = 15.19^{\circ} C$$

Температурное поле в слое „6 ” описывается параболическим уравнением типа $t = a \cdot x_0^2 + b \cdot x_0 + c$, где $x_0 = (x - 5.71) \cdot 10^{-3}$; значения x следует подставлять в [мм], а коэффициенты уравнения имеют следующие значения: $a = -822003.7$; $b = 3053.75$; $c = 24.32$.

Рассчитаем температуру t'_{W8} и коэффициент теплоотдачи α' от наружной поверхности комбинезона 2, пользуясь законом Ньютона-Рихмана:

$$t'_{W8} = t'_{W7} - q_c \cdot \frac{\delta_7}{\lambda_i} = 15.19 - 79.57 \cdot \frac{3.33 \cdot 10^{-3}}{0.0495} = 9.84^{\circ} C \quad \alpha = \frac{q_c}{t'_{W8} - t_f} = \frac{79.57}{9.84 - (-10)} = 4 \cdot \left[\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} \right]$$

Обобщая вышесказанное, можно сделать следующие выводы:

1. При неизменных конструкции комбинезона 2 и параметрах внешней среды применение внутреннего электрообогрева повышает температуры на всех поверхностях слоев одежды (за исключением слоя, контактирующего с телом тротителя) и снижает теплоотдачу от наружной поверхности одежды в 2,5 раза, увеличивая термическое сопротивление теплопереходу от поверхности тела человека к внешней среде примерно в 1,4 раза, т.е. защищает его тело от охлаждения.

2. Применение внутреннего электрообогрева снижает удельные теплотери с поверхности тела человека в указанном комбинезоне 2 на $30 \left[\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2} \right]$, что позволит снизить массу одежды примерно в 1,25 раза, уменьшить расход материалов на ее изготовление и повысить работоспособность человека.

5.2 Расчет температурных полей в электрообогреваемом комбинезоне 3 б

Теплозащитная одежда является барьером, изолирующим организм человека от низких температур окружающей среды, сохраняет тепловой баланс организма человека, предотвращает излишнюю теплоотдачу. Теплозащитные функции одежды, соответственно параметрам внешней среды в переходном и холодном периодах года, можно обеспечить выбором материалов и количества слоев, а также применением местного утепления одежды на тех ее участках, где наблюдаются большие теплотери с поверхности тела человека, что эффективно с экономической точки зрения.

В диссертационной работе проведен расчет нестационарных температурных полей в электрообогреваемом комбинезоне 3б, одеваемом на нательное белье.

Обозначим температуру внутренней воздушной среды между левой поверхностью нательного белья и телом строителя через t_{f1} , температуру внешней воздушной среды через t_{f2} , коэффициент теплоотдачи от внутренней воздушной среды к внутренней поверхности нательного белья через α_1 и коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности комбинезона к внешней среде через α_2 рис. 5.2. Действие электрического нагревателя в комбинезоне заменяем внутренним источником теплоты с удельной мощностью $q_v \left[\frac{\text{Вт}}{\text{м}^3} \right]$, равномерно распределенной по поверхности пакета. Общую толщину S пакета зимней одежды, включающей 6 слоев (2 слоя белья и 4 слоя комбинезона) разбиваем на элементарные полоски толщиной Δx .

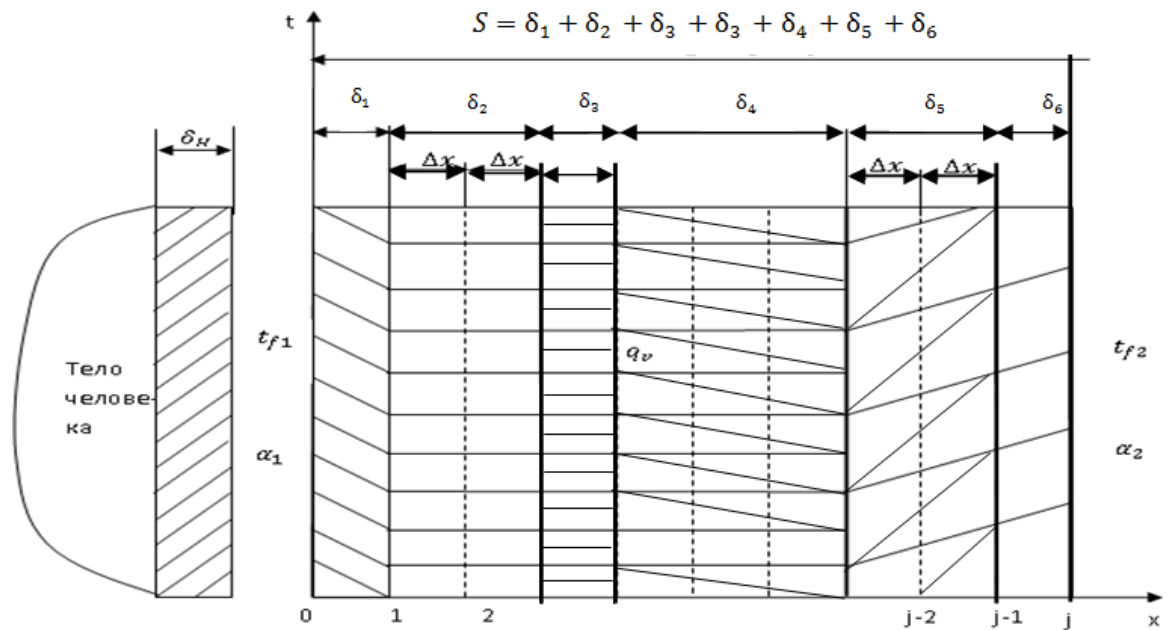


Рис. 5.2 Расчетная схема пакета зимней одежды, включающей нательное белье и комбинезон.

Дифференциальное уравнение теплопроводности записывается в виде [92-97]:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \cdot \nabla^2 t + \frac{q_v}{c \cdot \rho} \quad (5.1)$$

где a - средний коэффициент температуропроводности отдельных слоев пакета зимней одежды; c - средняя массовая теплоемкость отдельных слоев пакета зимней одежды; ρ - средняя плотность отдельных слоев пакета зимней одежды; $\nabla^2 t$ - выражение оператора Лапласа для одномерного температурного поля. Требуется найти значения температуры на поверхностях элементарных полосок и внутренней и наружной поверхностях спецодежды в любой момент времени τ .

Для решения дифференциального уравнения (5.1) совместно с начальным и граничными условиями воспользуемся методом конечных разностей, суть которого состоит в замене дифференциальных операторов разностными [97-102].

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} \approx \frac{t_j^{n+1} - t_j^n}{\Delta \tau} \quad (5.2)$$

$$\frac{d^2 t}{dx^2} \approx \frac{t_{j+1}^n - 2t_j^n + t_{j-1}^n}{(\Delta x)^2} \quad (5.3)$$

Подставляя выражения (5.2) и (5.3) в дифференциальное уравнение теплопроводности (4.1), получим:

$$\frac{t_j^{n+1} - t_j^n}{\Delta \tau} = a \left(\frac{t_{j+1}^n - 2t_j^n + t_{j-1}^n}{\Delta x^2} \right) + \frac{q_v}{c\rho} \quad (5.4),$$

где Δx и $\Delta \tau$ - приращения переменных x и τ , причем: $x = j \cdot \Delta x$ и $\tau = n \cdot \Delta \tau$, $j=1,2,3,\dots, j_n=0,1,2,\dots, N$. Решая разностное уравнение (5.4) относительно температуры

$$t_j^{n+1}, \text{ получим: } t_j^{n+1} = A \cdot t_{j+1}^n + B \cdot t_j^n + D t_{j-1}^n + \frac{q_v \Delta \tau \cdot a}{\lambda} \quad (5.5)$$

$$\text{где } A = D = \frac{a \Delta \tau}{\Delta x^2}, \quad B = \left(1 - \frac{2a \Delta \tau}{\Delta x^2} \right); \quad \lambda - \text{ средний коэффициент теплопроводности}$$

материалов слоев.

Полученное разностное уравнение соответствует явной разностной схеме, для устойчивости которой требуется условие: $\frac{a \cdot \Delta \tau}{\Delta x^2} \leq \frac{1}{2}$

$$\text{Примем: } \frac{a \cdot \Delta \tau}{\Delta x^2} = \frac{1}{4} = A = D, \text{ следовательно: } B = \left(1 - 2 \cdot \frac{1}{4} \right) = \frac{1}{2}$$

Перепишем разностное уравнение в виде:

$$t_j^{n+1} = \frac{1}{2} t_j^n + \frac{1}{4} (t_{j+1}^n + t_{j-1}^n) + \frac{q_v \cdot \Delta \tau}{c \cdot \rho} \quad (5.6)$$

По последней формуле можно определить температуру на поверхностях элементарных полосок в момент времени $\tau + \Delta \tau$, по известным температурам в тех же узлах разностной схемы для момента времени τ .

Начальное распределение температур (начальное условие) описывается уравнением

$$t(0, x) = f(x) = 36,5 - E \cdot \left(\frac{x}{S} \right) \quad (5.7)$$

Граничные условия III рода на внутренней поверхности нательного белья ($x = 0$) имеют вид;

$$\left(\frac{dt}{dx}\right)_{x=0} = -\frac{\alpha_1}{\lambda}(t_{f1} - t_{x=0}) \quad (5.8)$$

Граничные условия III рода на наружной поверхности комбинезона ($x = S$) имеют вид;

$$\left(\frac{dt}{dx}\right)_{x=S} = -\frac{\alpha_2}{\lambda}(t_{x=S} - t_{f2}) \quad (5.9)$$

Заменяем дифференциальные операторы в граничных условиях (5.8) и (5.9) разностными:

$$\left(\frac{dt}{dx}\right)_{x=0} = (-t_2^n + 4t_1^n - 3t_0^n)/2\Delta x \quad (5.10)$$

$$\left(\frac{dt}{dx}\right)_{x=S} = (3t_j^n - 4t_{j-1}^n + t_{j-2}^n)/2\Delta x \quad (5.11)$$

Тогда с учетом выражений (5.10) и (5.11), для граничных условий получим:

$$\frac{(-t_2^n + 4t_1^n - 3t_0^n)}{2\Delta x} = -\frac{\alpha_1}{\lambda}(t_{f1} - t_0^n) \quad (5.12)$$

$$\frac{3t_j^n - 4t_{j-1}^n + t_{j-2}^n}{2\Delta x} = -\frac{\alpha_2}{\lambda}(t_j^n - t_{f2}) \quad (5.13)$$

Решая уравнения (5.12) и (5.13) относительно температур t_0^n и t_j^n , окончательно получим:

$$t_0^n = \frac{\frac{2\alpha_1\Delta x}{\lambda} \cdot t_{f1} - t_2^n + 4t_1^n}{3 + \frac{2\alpha_1\Delta x}{\lambda}} \quad (5.14)$$

$$t_j^n = \frac{\frac{2\alpha_2\Delta x}{\lambda} \cdot t_{f2} + 4t_{j-1}^n - t_{j-2}^n}{3 + \frac{2\alpha_1\Delta x}{\lambda}} \quad (5.15)$$

Формулы (5.14) и (5.15) позволяют определить температуры на внутренней поверхности нательного белья и на наружной поверхности комбинезона в любой момент времени τ .

Таким образом, выражения (5.6) (5.14) и (5.15) позволяют найти распределение температур в выбранных узлах шестислойной конструкции теплозащитной одежды с электрообогревом в любой момент времени τ .

Для расчета и построения нестационарных температурных полей в пакете зимней одежды для строителей, включающей пакет белья и электрообогреваемый комбинезон 3б, составлена программа на алгоритмическом языке C++. Текст программы приводится в приложении 1 диссертационной работы.

Расчеты проведены при следующих исходных данных:

$$q_v = 172 \left[\frac{\text{Вт}}{\text{м}^3} \right], \text{ что соответствует мощности электронагревателей, равной } 34,4 \text{ Вт,}$$

$$S = 12,29 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2, \lambda = 0,0495 \text{ Вт}(\text{м} \cdot \text{К}), C = 1090 \text{ Дж} / (\text{кг} \cdot \text{К}),$$

$$\rho = 300 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}, t_{f1} = 36,5 \text{ }^\circ\text{C}, E = 9, \Delta x = 0,01 \cdot 10^{-3} \text{ м}, \Delta \tau = 600 \text{ с.}$$

В качестве примера на рис. 5.3 и 5.4 приведены нестационарные температурные поля в пакете зимней одежды для строителей при температурах внешней среды $t_{f2} = -20 \text{ }^\circ\text{C}$ и $t_{f2} = -15 \text{ }^\circ\text{C}$.

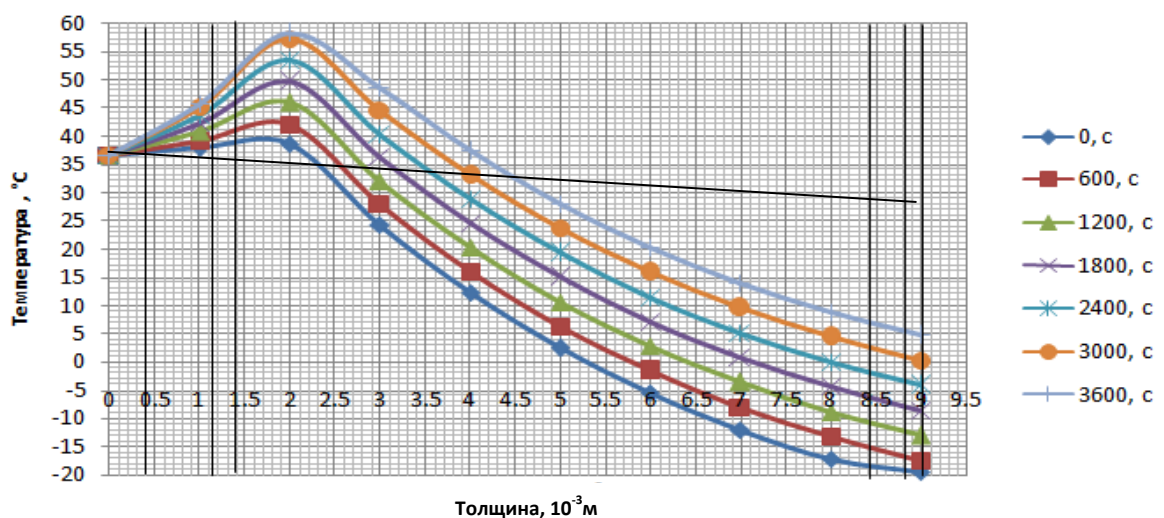


Рис.5.3 Нестационарные температурные поля в пакете зимней одежды для строителей при температуре внешней среды -20°C .

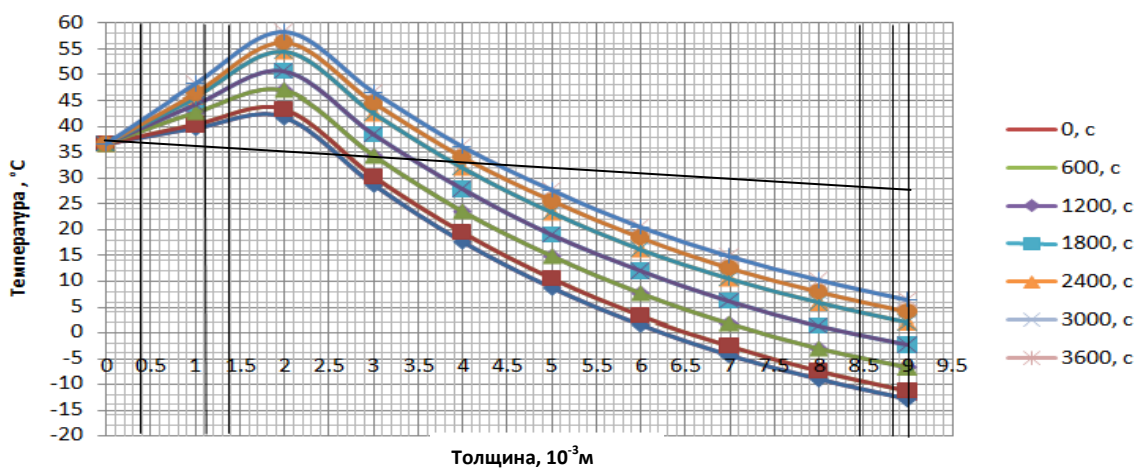


Рис. 5.4 Нестационарные температурные поля в пакете зимней одежды для строителей при температуре внешней среды -15°C .

Данные, полученные с помощью математической модели, хорошо согласуются с экспериментальными данными, приведенными в главе 4. Скачок температуры на рис. 5.3 и 5.4 обусловлен нагревательными элементами, расположенными в этой области комбинезона.

5.3 Оценка эффективности разработанного комбинезона 3б

В настоящее время для оценки эффективности и, как следствие, качества специальной одежды разработаны различные методики [51,64,68,103-105]. Для оценки эффективности разработанного комбинезона 3б, который является основным среди разработанных комбинезонов 1, 2, 3а и 3б было проведено сравнение этого комбинезона с существующим электрообогреваемым комбинезоном фирмы „Гелиос”. [48]

Электрообогреваемый комбинезон фирмы “Гелиос”, как и разработанный комбинезон 3б, являются комбинезонами закрытого типа и надевается на пакет нательного белья.

Электрообогрев комбинезона фирмы „Гелиос” осуществляется с помощью электронагревательной ткани, покрывающей всю поверхность комбинезона. В пакет комбинезона входят: основная покровная ткань, ветрозащитная прокладка, утепляющая прокладка, электронагревательная ткань и подкладка. Питание электронагревательной ткани осуществляется от аккумуляторной батареи напряжением 11 В, мощностью 75Вт. Электрообогрев имеет два режима нагрева: с использованием 50% мощности и с использованием 100% мощности [48].

Разработанный электрообогреваемый комбинезон 3б состоит из основной покровной ткани, ветрозащитной прокладки, утепляющей прокладки и подкладки. Электрообогрев комбинезона осуществляется с помощью электронагревательных плат с электрическими резисторами, установленными на 8-ми участках тела человека в соответствии с местными теплотерями строителя. Питание электронагревательных плат производится от аккумуляторной батареи напряжением 14,4 В, мощностью 38,88 Вт. Для установления необходимого теплового режима и предотвращения перегрева тела строителя в комбинезон встроен терморегулятор. Ниже в табл. 5.2 приведены основные параметры, необходимые для проведения сравнительного анализа. Температура внешней среды составляет – 20°С, относительная влажность воздуха - 60%, скорость ветра - 3 м/с, носчиком комбинезонов является человек размером - 100, ростом -170, полнотой -88.

Таблица 5.2

Основные параметры эффективности электрообогреваемых комбинезонов фирмы „Гелиос” и 3б.

Параметр	Электрообогреваемый комбинезон фирмы „Гелиос”	Электрообогреваемый комбинезон 3б
Потребляемая мощность, Вт	75	38,88
Масса, кг	5.1	3.4
Время непрерывной работы с одним комплектом аккумуляторов, ч	1,5	4
Средневзвешенная температура тела, °С	37,2	33,3

Данные таблицы позволяют провести сравнительный анализ электрообогреваемых комбинезонов.

1. Отношение потребляемых мощностей составляет $75/38.88=1,93$, что свидетельствует о том, что разработанный комбинезон 3б при одинаковых условиях потребляет почти в 2 раза меньшую мощность, в основном связанную с работой терморегулятора.

2. Отношение масс сравниваемых комбинезонов составляет $5.2/3.4=1.53$, что свидетельствует о том, что разработанный комбинезон 3б примерно в 1.5 раза легче комбинезона фирмы „Гелиос” и поэтому, обеспечивает более высокую работоспособность и производительность труда носчика.

3. Сравнение продолжительности непрерывной работы системы обогрева с одним комплектом аккумуляторов, показывает, что она в $4/1.5=2.66$ раза выше у разработанного электрообогреваемого комбинезона 3б. Это позволяет избежать непроизводительных расходов времени на замену аккумуляторной батареи и иметь в комплекте комбинезона еще одну аккумуляторную батарею за рабочую смену вместо трех у комбинезона фирмы „Гелиос”.

4. Сравнение средневзвешенной температуры тела носчика, одетого в электрообогреваемые комбинезоны фирмы „Гелиос” и 3б, целесообразно провести по значению коэффициента дискомфорта, представляющего отношение средневзвешенной температуры тела носчика в комбинезоне к его оптимальной температуре. Оптимальная средневзвешенная температура тела носчика составляет $30.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ [50,57,58,72]. Для работ средней тяжести оптимальный коэффициент дискомфорта составляет $37.2/30.7=1.21$ для комбинезона фирмы „Гелиос” и $33.3/30.7=1.08$ – для разработанного комбинезона 3б. Отношение коэффициентов дискомфорта составит $1.21/1.08=1.12$, т.е. дискомфорт носчика в электрообогреваемом комбинезоне фирмы „Гелиос” в 1,12 раза превышает дискомфорт комбинезона 3б, что может привести к перегреву отдельных частей тела носчика вследствие нагрева тела на всех его участках и различного рода простудным заболеваниям.

5. Разработанный электрообогреваемый комбинезон 3б, кроме указанных преимуществ, обладает также и сравнительно низкой себестоимостью по сравнению с комбинезоном фирмы “Гелиос”, вследствие меньших затрат на систему электрообогрева.

Аналогичные результаты получаются и при других отрицательных температурах внешней среды.

Таким образом, разработанный электрообогреваемый комбинезон 3б по анализируемым показателям наиболее эффективен по сравнению с комбинезоном фирмы “Гелиос” и его можно рекомендовать для носки не только на строительстве, но и для работников других профессий, вынужденных длительное время находиться на открытом воздухе в условиях отрицательных температур.

Сравнение разработанного электрообогреваемого комбинезона с аналогичными комбинезонами без обогрева позволяет сделать следующие выводы.

1. При неизменных конструкции комбинезона 2 и параметрах внешней среды применение внутреннего электрообогрева повышает температуры на всех поверхностях слоев одежды (за исключением слоя, контактирующего с телом человека) и снижает теплоотдачу от наружной поверхности одежды в 2,5 раза, увеличивая термическое сопротивление теплопереходу от поверхности тела человека к внешней среде примерно в 1,4 раза, т.е. защищает его тело от охлаждения.

2. Применение внутреннего электрообогрева снижает удельные теплотери с поверхности тела человека в комбинезоне 2 на $30 \left[\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2} \right]$, что позволит снизить массу одежды примерно в 1,25 раза, уменьшить расход материалов на ее изготовление и повысить работоспособность человека.

ВЫВОДЫ

1. Проведено моделирование теплотерь с поверхности тела строителя в электрообогреваемом комбинезоне 2. Определены теплотери с поверхности тела человека при наличии и отсутствии обогрева в комбинезоне 2 и неизменной конструкции одежды и параметров внешней среды.

2. При неизменных конструкции комбинезона 2 и параметрах внешней среды применение внутреннего электрообогрева повышает температуры на всех поверхностях слоев одежды (за исключением слоя, контактирующего с телом человека) и снижает теплоотдачу от наружной поверхности одежды в 2,5 раза, увеличивая термическое сопротивление теплопереходу от поверхности тела человека к внешней среде примерно в 1,4 раза, т.е. защищает его тело от охлаждения.

3. Применение внутреннего электрообогрева снижает удельные теплотери с поверхности тела человека в указанном комбинезоне 2 на $30 \left[\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2} \right]$, что позволит снизить массу одежды примерно в 1,25 раза, уменьшить расход материалов на ее изготовление и повысить работоспособность человека.

4. Разработана методика исследования температурных полей в электрообогреваемом комбинезоне 3б на основе решения дифференциального уравнения теплопроводности совместно с граничными условиями первого рода на поверхности тела строителя, граничными условиями третьего рода на наружном слое комбинезона и начальными условиями. Составлен алгоритм решения и программа его реализации на языке C++. Данные, полученные с помощью математической модели, хорошо согласуются с экспериментальными данными настоящего исследования.

5. Разработанный комбинезон 3б при одинаковых условиях потребляет более чем в 2 раза меньшую мощность, в основном связанную с работой терморегулятора.

6. Разработанный комбинезон 3б примерно в 1.5 раза легче комбинезона фирмы “Гелиос” и поэтому, обеспечивает более высокую работоспособность и производительность труда носчика.

7. Продолжительность непрерывной работы системы обогрева с одним комплектом аккумуляторов, в 2.66 раза выше у разработанного электрообогреваемого комбинезона 3б. Это позволяет избежать непроизводительных расходов времени на замену аккумуляторной батареи и иметь в комплекте комбинезона еще одну аккумуляторную батарею за рабочую смену вместо трех у комбинезона фирмы “Гелиос”.

8. Дискомфорт носчика в электрообогреваемом комбинезоне фирмы “Гелиос” в 1,12 раза превышает дискомфорт комбинезона 3б, что может привести к перегреву отдельных частей тела носчика вследствие нагрева тела на всех его участках и к различного рода простудным заболеваниям.

9. Разработанный комбинезон 3б обладает сравнительно низкой себестоимостью по сравнению с комбинезоном фирмы “Гелиос” вследствие меньших затрат на систему электрообогрева.

10. Разработанный комбинезон 3б можно рекомендовать для носки не только на строительстве, но и для работников других профессий, вынужденных длительное время находиться на открытом воздухе в условиях отрицательных температур.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Выявлено, что существующие в настоящее время конструкции электрообогреваемых комбинезонов малоэффективны ввиду ограниченности продолжительности пребывания в них в условиях низких температур и сравнительно высокой себестоимости. Существующие системы обогрева в основном требуют наличие переменного тока, а системы обогрева, базирующиеся на постоянном токе, требуют большую мощность источников питания.

2. Получено, что теплозащитные свойства комбинезона для строителей можно повысить путем применения внутренних источников теплоты, причем наиболее выгодным для этой цели является электрообогрев. Разработаны 4 варианта комбинезона для строителей, отличающиеся системой электрообогрева.

3. Доказано, что для питания электрообогреваемого комбинезона 3б наиболее подходят никель-кадмиевые аккумуляторы постоянного тока типа GP, которые обладают большой энергоемкостью и долговечностью к периодическим подзарядкам, а в качестве нагревательных элементов для комбинезона наиболее эффективны электрические резисторы типа МЛТ, которые обеспечивают равномерную раздачу тепла по его поверхности и требуют сравнительно низкую мощность.

4. Показано, что размещение нагревательных элементов в соответствии с местными теплотерями с поверхности тела строителя увеличивает теплозащитные свойства пакета материалов комбинезона 3б и позволяет повысить продолжительность работы аккумуляторных батарей до подзарядки, а применение терморегулятора - обеспечить комфортное тепловое состояние строителя.

5. Выявлено, что разработанный комбинезон 3б примерно в 1.5 раза легче, при одинаковых условиях потребляет почти в 2 раза меньшую мощность, с одним комплектом аккумуляторов работает в 2.66 раза дольше, обладает сравнительно низкой себестоимостью по сравнению с комбинезоном фирмы „Гелиос”.

6. Показано, что дискомфорт носчика в электрообогреваемом комбинезоне фирмы “Гелиос” в 1,12 раза превышает дискомфорт комбинезона 3б, что может привести к перегреву отдельных частей тела носчика вследствие нагрева тела на всех его участках и к

различного рода простудным заболеваниям. Наружный слой комбинезона 3б из дублированной поливинилхлоридной ткани обеспечивает хороший отвод водяных паров из пододежного пространства и не допускает проникновение внешней влаги благодаря конической конструкции капилляров.

7. Доказано, что при неизменных конструкции комбинезона 2 и параметрах внешней среды применение внутреннего электрообогрева повышает температуры на всех поверхностях слоев одежды, снижает удельные теплотери с поверхности тела человека в комбинезоне 2 на $30 \left[\frac{Вт}{м^2} \right]$, и теплоотдачу от наружной поверхности одежды в 2,5 раза, увеличивает термическое сопротивление теплопереходу от поверхности тела человека к внешней среде примерно в 1,4 раза.

8. Получено, что разработанные математические модели, алгоритм и программа на языке С++ позволяют рассчитывать нестационарные температурные поля в электрообогреваемом и необогреваемом комбинезонах, результаты которых хорошо согласуются с полученными экспериментальными данными.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Попов А.И., Иванов А.М., Солнцев А. Н., Гаевский В. В., Осипов В.Н., Ключкин П.Н. Основы конструкции современного автомобиля. - М.: Смарт, 2012. - 338с.
2. Патент 2448003 RU, B60N 2/56. Сиденье с подогревом / Асами Н., Нисикава М., 2012.
3. Патент 2123772 RU, N05B 3/34. Нагревательный элемент для сидений транспортных средств и способ его изготовления / Берье Л., Торгни В., 1998.
4. Патент 2180471 RU, N05B 3/36. Электрический обогреватель для подушек / Геран Й., 2002.
5. Агаханян Т.М, Никитаев В. Г. Электронные устройства в медицинских приборах. -М.: БИНОМ, 2005. – 510с.
6. Патент 1666054 SU, A47C 21/04. Гипертермический матрац / Подшивалов С.Ф., Гладышев И.Т., Двирный В.В., Заваруев В.А., Царев И.А., 1991.
7. Патент 2506023 RU, A43B 7/00. Стелька с подогревом / Дмитриев А.А., Куликов Н.А., 2014.
8. Патент 2145984 RU, D03D 15/00. Электронагревательная ткань, нагревательный элемент на ее основе и средство для электрического соединения нагревательного элемента с источником электропитания / Шульженко А.А., Корнев В.Н., Модестов М.Б., 2000.
9. Патент 2234820 RU, H05B 3/34. Гибкий нагревательный элемент и способ его изготовления / Офицерьян Р.В., Офицерьян А.Р., 2004.
10. Патент 2040122 RU, H05B 3/34. Способ изготовления плоского полимерного электронагревателя / Шумаев С.В., Дзюба Ю.В., Безукладов В.И., Офицерьян Р.В., Орлов В.Я., 1995.
11. Патент 2046553 RU, H05B 3/36. Гибкий нагревательный провод / Струпинский М.Л., Хренков Н.Н., 1995.
12. Патент 2419370 RU, A47C 21/04. Матрас с регулируемым электрообогревом / Егорова И.Д., 2011.
13. Смирнов М.Е., Кирюхин С.М. Определение суммарного теплового сопротивления шерстяных одеял ведомственного назначения // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. - 2014. - № 1 (349). - с. 21-23.
14. Снопоевич Г.А. Нагрев и нагревательные устройства.- Барнаул: Алт ГТУ, 2010, 172 с.
15. Упянов В.А., Гушин В.Н, Чернышов Е.А. Нагрев и нагревательные устройства. -М.: Академия, 2010. – 256 с.

16. Патент 2277890 RU, А61F 7/00. Медицинский матрас / Ноль Г.В., Литвин В.К., 2006.
17. Патент 2014809 RU, А61F 7/00. Греющий элемент электрогрелки / Зеленюк Ю.И., Песков Н.Е., Пилецкий Г.К., Строев Е.А., 1994.
18. Патент 2147393 RU, H05B 3/34. Электропроводная ткань и способ ее изготовления / Авдеев О.В., Генусова Т.Н., Румянцев В.И., 2000.
19. Евдокимов Ф.Е. Общая электротехника.- М.: Высшая школа, 2004. - 367 с.
20. Патент 1630817 SU, А61F 7/00. Устройство для обогрева тела человека / Моисеев В.С., 1991.
21. Кудрявцев И.Ф., Карасенко, В.А. Электрический нагрев и электротехнология. - М.: Колос, 1975.- 384 с.
22. Ксенофонтов А.Г. Расчет и конструирование нагревательных систем. - М.: МГТУ, 2014. - 503 с.
23. Патент 1627566 SU, C21C 5/52. Способ выплавки сплавов типа нихром /Адельшин Ю.Г. Немченко В.П., Закамаркин М. К., Воловик А.А., Мерзляков В.Т.
24. Патент 145200 SU, D21D 11/06, Станок для изготовления из нихромовой ленты зигзагообразных спиралей / Тронев И.И., 1962.
25. Патент 368652 SU, H01B 13/06. Способ получения оксидного покрытия нихромовой проволоки / Сытник М.И., 1973.
26. Сокунов Б.А., Грובה Л.С. Электротермические установки (электрические печи сопротивления) - Екатеринбург: УГТУ - УПИ, 2004. - 122 с.
27. Фельдман И.А., Гутман М.Б., Рубин Г.К., Шадрин Н.И. Расчет и конструирование нагревателей электропечей сопротивления – М.: Книга по Требованию, 2013. – 108 с.
28. Патент 2147393 RU, H05B 13/34. Электропроводная ткань и способ ее изготовления / Авдеев О.В., Генусова Т.Н., Румянцев В.И., 2000.
29. Патент 2109562 RU, B01J 20/20. Углеродные сорбционные волокна / Лысенко А.А., Асташкина О.В., Каторгина Е.Ю., Бездудный Ф.Ф. и др., 1998.
30. Валетов В.А. Основы производства радиоэлектронной аппаратуры. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2007-112 с.
31. Электрические нагревательные элементы. Интернет - документ <http://elektrik.info/main/school/851-elektricheskie-nagrevatelnye-elementy.html>
32. Коровин Н.В., Скундин А.М. Химические источники тока. -М.: МЭИ, 2003. – 740 с.
33. Хрусталева Д.А. Аккумуляторы. -М.: Изумруд, 2003. – 159 с.

34. Ефимов И. П. Источники питания. -М.: УлГТУ, 2001. – 135 с.
35. Шрайбер Г. 300 схем источников питания. Выпрямители, импульсные источники питания, линейные стабилизаторы. -Санкт-Петербург: Питер ДМК, 2001. – 187 с.
36. Варламов Р. Г. Современные источники питания. -М.: ДМК, 1998. – 192 с.
37. Патент 2128870 RU, H01M 10/34. Герметичный никель-кадмиевый аккумулятор большой емкости и способ его изготовления / Теньковцев В.В., Леонов В.Н., Вощикова Т.Д.
38. Buchmann I. Batteries in a Portable World. – Canada: Codex Electronics, 2011. - 328 p.
39. Типы аккумуляторов. Интернет-документ <http://www.powerinfo.ru/accumulatortype.php>
40. Афанасьева Р.Ф. Гигиенические основы проектирования одежды для защиты от холода. – М.: Легкая индустрия, 1977. - 136 с.
41. 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.
42. Бикбулатова А.А. Определение толщины пакета материалов лечебно-профилактической теплосберегающей одежды // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. - 2014. - № 1 (349). - С. 119-122.
43. Патент 2046552 RU, H05B 3/36. Тканый электронагреватель / Офицерьян Р.В., Никитин А.А., Безукладов В.И., Шумаев С.В., Орлов В.Я., 1995.
44. Патент 2152464 RU, D03D 15/00. Ткань для спецодежды / Хомустенко Л.И., Буторина Н.В., Пахомова О.Н., 2000.
45. Куртка с подогревом . Интернет-документ. <http://thermedic.ru/Files/prod.html>
46. Майки с электрическим подогревом. Интернет-документ. http://gizmod.ru/2006/03/21/majki_s_elektricheskim_podogrevom/
47. Штаны с подогревом. Интернет-документ. http://gizmod.ru/2006/10/31/shtany_s_podogrevom
48. Патент 2172910 RU, F28D 20/20 Теплозащитный элемент и теплозащитная одежда / Петрашев В.А., Корнеев О.А.,
49. Родичева М.В., Абрамов А.В. Исследование эффективности пакетов инновационной теплозащитной одежды с изменяемым уровнем физических свойств // Известия вузов. Технология текстильной промышленности, 2014. - № 5. - С. 93-97.
50. Делль Р.А. Гигиена одежды . - М.: Легпромбытиздат, 1991. – 160 с.

51. Колесников П.А. Основы проектирования теплозащитной одежды. – М.: Легкая индустрия, 1971. - 112 с.
52. ГОСТ-у 25380-82. Buildings and structures.of measuring density of heat flows passing through enclosure.
53. Цветков Ф.Ф., Григорьев Б.А. Тепломассообмен, -М.: МЭИ, 2011. - 592с.
54. Орлов М.Е. Теоретические основы теплотехники. Тепломассообмен: – Ульяновск: УлГТУ, 2013. – 204 с.
55. Шалмина И.И., Салтыкова В.С. и др. Тепломассообменные свойства материалов для теплозащитной одежды // Швейная промышленность.- 1992. - №4. - С. 40-42.
56. Лыков А.В. Тепломассообмен. – М: Энергия, 1978. - 480 с.
57. Скляников В.П. Гигиеническая оценка материалов для одежды. - М.: Легпромбытиздат, 1985. - 144 с.
58. Ермакова И.А. Гигиена одежды. - Владивосток: ВГУЭС, 2006. – 94 с.
59. Ntc термисторы. Интернет-документ. <http://ru.aliexpress.com/item/Ntc-thermistor-2k-2-8k-5k-10k-20k-25k-40k-50k-100k-110k-500k/1331936189.html>.
60. ГОСТ-у 21342.7-76. Терморезисторы. Метод измерения сопротивления.
61. ТЕС термостат регулятор. Интернет-документ. <http://ru.aliexpress.com/item/Free-Shipping-TEC-Thermostat-temperature-controller-digital-intelligent-control-heating-XH-W1207-50-to-110/1409683500.html>.
62. Сапронов М.И., Игнатов В.Н. Технические измерения и приборы. – М.: МГУТУ, 2012. – 41 с.
63. Айзенберг Л.Г. Технологические измерения и контрольно-измерительные приборы в текстильной и легкой промышленности. – М.: Легпромбытиздад, 1990 .
64. Ядреева Е.В. Проектирование комплектующих изделий утепленной спецодежды на основе прогнозирования их защитной эффективности. – М./ Дис. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук. 2003. – 188 с.
65. Гарсия В. Измерение температуры: теория и практика // Современные технологии автоматизации. – 1999. – N1. - С. 82-87.
66. Крамарухин Ю.Е. Приборы для измерения температуры. - М.: Машиностроение, 1990. - 208 с.
67. Омметр цифровой. Интернет-документ. <http://www.tetr.ru/c.php?id=425>

68. Носач В.В. Решение задач аппроксимации с помощью персонального компьютера. -М.: МИКАП, Бином, 1994. – 328 с.
69. Молькова, И.В. Разработка пакетов материалов для одежды специального назначения и исследование их теплозащитных свойств. / Дис. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук: Иваново, 2004. - 166 с.
70. Выгодин В.А. Теплозащитные материалы и костюмы. - Рязань: Новое время, 1997. - 160с.
71. Гущина К.Г. Теплозащитные свойства материалов и пакетов одежды. – М.: Швейная промышленность, 1991. - 209 с.
72. Ботезат Л.А. Гигиена одежды. – Витебск: УО “ВГТУ”, 2008. – 182 с.
73. Соколовская Т.С. Исследование теплопроводности нетканых материалов из химических волокон// Известия вузов. Технология текстильной промышленности. - 2012. - № 6 (342). - С. 24-26.
74. Суворова О.В. Материаловедение швейного производства. - Ростов н/Д: Феникс, 2001. – 416 с.
75. Матризаева Е.И., Мокеева Н.С. и др. Подбор материалов в пакет одежды для спасателей-десантников // Швейная промышленность - 1998. № 6. - С. 33-34.
76. Маглаперидзе З.И. Выбор комплекса характеристик свойств для оценки качества текстильных полотен для спецодежды // Текстильная промышленность, 2005. - № 1-2. - С. 30 - 31.
77. Гусейнова Т.С. Товароведение швейных и трикотажных товаров: – М.: Экономика, 1991. – 287 с.
78. Бесшапошникова В.И. Объемный нетканый утеплитель // Текстильная промышленность. - 2005. - №7-8. - С. 4-5.
79. Серебрякова Л.А. Использование нетканых материалов в качестве утепляющей прокладки // Швейная промышленность, 2005. - №1. - С. 47-48.
80. Шишов И.П. Исследование свойств клееных утепляющих нетканых материалов // Текстильная промышленность, 1995. - №11.- С. 42-43.
81. Бузов Б.А., Алыменкова Н.Д. Материаловедение в производстве изделий легкой промышленности (швейное производство). – М.: Академия, 2004. - 362 с.
82. Савостицкий Н.А. Материаловедение швейного производства. - М.: Академия, Мастерство, 2002. - 240 с.
83. Фомченкова Л.Н. Современные материалы для специальной одежды зарубежных фирм // Текстильная промышленность. - 2004. - № 7-8. - С.42-47.

84. Шерпшева Л.П., Ларькина Л.В. Конструирование одежды. – М.: Форум, 2006. -285 с.
85. Амирова Э.К., Сакулина О.В., Сакулин Б.С., Труханова А.Т. Конструирование одежды – М.: Академия, 2005. - 496 с.
86. Конопальцева Н.М. Новые технологии в производстве специальной и спортивной одежды. - М.: Форум , 2013. - 240 с.
87. Кокеткин П.П. Одежда. Технология техника, процессы – качество. - М.: МГУДТ, 2001. - 557 с.
88. Викторова Л.Д. О новых разработках ЦНИИШП в области создания специальной защитной одежды, предлагаемых к внедрению в швейную промышленность // Швейная промышленность. - 2003. – №6. - С. 38-39.
89. Кокеткин П.П., Чубарова З.С., Афанасьева Р.Ф. Промышленное проектирование специальной одежды. - М.: Легкая и пищевая промышленность, 1982. – 184 с.
90. Эглите Л.А. Особенности проектирования новых видов специальной одежды // Швейная промышленность. - 2000. - №5. - С.34-36.
91. Кошмаров Ю.А. Требования и методы испытаний материалов для создания специальной защитной одежды // Текстильная промышленность. - 2002. - №1.1.- С. 27-28.
92. Кудинов В.А., Карташов Э.М., Стефанюк Е.В. Техническая термодинамика и теплопередача. – М.: Юрайт, 2011. - 560 с.
93. Гребер Г. Основы учения о теплообмене. – М.: Изд-во иностр. лит, 2012. – 565 с.
94. Шак А. Промышленная теплопередача. – М.: Книга по Требованию, 2012. – 514 с.
95. Мелихов Е.Х., Прийшев Расторгуева Л.К. Метод расчета локальной теплоизоляции спецодежды // Швейная промышленность. - 1998. - №6. - С.21-22.
96. Жигалова Т.М. О тепло - и влагообмене человека в спецодежде с окружающей средой // Технология легкой промышленности. - 1991. - №4. - С.55-60.
97. Тактаров Н.Г. Справочник по высшей математике. – М.: Изд.стереотип, 2014. - 880 с.
98. Тарасевич Ю.Ю. Математическое и компьютерное моделирование. - М.: - Эдиториал УРСС, 2001. - 144 с.
99. Самарский А.А. Математическое моделирование: Идеи. Методы. Примеры. -М.: Физмат-лит, 2002. - 320 с.
100. Каханер Д. Численные методы и программное обеспечение. -М.: Мир, 2001. - 575 с.

101. Молькова И.В., Виноградов А.А., Куликов Б.П., Веселов В.В. Математическая модель теплового сопротивления пакета изделия специального назначения // Технология текст, пром-сти. - 2002. - №1. - С.79-81.

102. Татищев С.В. Расчет теплозащитных свойств текстильных материалов в условиях носки // Текстильная промышленность. – 1974. - №11. - С.70-73.

103. Куликов Б.П. Гигиена, Комфортность и безопасность одежды: -М.: ИГТА, 2006. – 256с

104. Чубарова З.С. Методы оценки качества специальной одежды. – М.: Легпромбытиздат, 1988. – 161 с.

105. Романова В.Е. Оценка качества специальной одежды // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. – 1978 - № 5. - С. 16-20.

**Программа расчета нестационарных температурных полей в электрообогреваемом
комбинезоне 3б.**

```
#include <stdio.h>
#include <string.h>
#include <math.h>
#define MAX_LAYER_NUM 4096
int layer_num;
double c;
double p;
double lamda;
double alpha;
double q;
double E;
double body_temp=36.5;
double width;
double leeps;
double ledt;
double lecdt;
double time;
double tf2;
double t0[MAX_LAYER_NUM];
double prev_t[MAX_LAYER_NUM];
double cur_t[MAX_LAYER_NUM];
double cur_ts[MAX_LAYER_NUM];
double cur_temp[MAX_LAYER_NUM];
double prev_temp[MAX_LAYER_NUM];
```

```

intmax_iter;

FILE *out;
void step(int);
void input();
void calc_t0();
void calc_cur_t();
int comp_t();
void out_cur_t(int);
int main()
FILE *res=fopen("res.txt","w");
out=fopen("out.txt","w");
input();
calc_t0();
int step_num=0;
while (time>0)
fprintf(out,"step %d\n",++step_num);
step(step_num);
fprintf(res,"step %d\n",step_num);
int i;
for (i=0;i<layer_num;i++)
fprintf(res,"%lf\n",cur_temp[i]);
time-=cdt;
dt+=cdt;
memcpy(prev_t,cur_temp,sizeof(cur_temp));
memcpy(cur_ts,cur_temp,sizeof(cur_temp));
fclose(out);

```



```

fclose(res);

return 0;}

void step(intstep_num)
{intiter=0;
while (max_iter--)
{if (iter)

memcpy(prev_t,cur_ts,sizeof(cur_ts));

memcpy(prev_temp,cur_temp,sizeof(cur_temp));}

calc_cur_t();

++iter;

out_cur_t(iter);

if (comp_t())

break;}

void input()

puts("enter width:");

scanf("%lf",&width);

puts("enter number of layers:");

scanf("%d",&layer_num);

puts("enter value of c:");

scanf("%lf",&c);

puts("enter value of p:");

scanf("%lf",&p);

puts("enter value of lamda:");

scanf("%lf",&lamda);

puts("enter value of alpha:");

scanf("%lf",&alpha);

puts("enter value of q:");

scanf("%lf",&q);

```

```

puts("enter value of E:");
scanf("%lf",&E);
puts("enter temperature:");
scanf("%lf",&tf2);
puts("enter time:");
scanf("%lf",&time);
puts("enter dt:");
scanf("%lf",&dt);
cdt=dt;
puts("enter value of eps:");
scanf("%lf",&eps);
puts("enter max number of iterations:");
scanf("%d",&max_iter);
void calc_t0()
int i;
for (i=0;i<layer_num;i++)
t0[i]=body_temp-E*(1.0*i/layer_num);
memcpy(prev_t,t0,sizeof(t0));
for (i=layer_num-1;i>1;i--)
prev_t[i]=(2*alpha*(width/layer_num)/lamda*(tf2)+4*t0[i-1]-t0[i-2])/
(3+2*alpha*(width/layer_num)/lamda);
void calc_cur_t()
int i;
cur_t[0]=36.5;
for (i=1;i<layer_num-1;i++)
cur_t[i]=prev_t[i]/2+(prev_t[i+1]+prev_t[i-1])/4+q*dt/c/p;
cur_t[layer_num-1]=(2*alpha*(width/layer_num)/lamda*(tf2)+4*cur_t[layer_num-2]-
cur_t[layer_num-3])/
(3+2*alpha*(width/layer_num)/lamda);

```

```

memcpy(cur_ts,cur_t,sizeof(cur_t));

for (i=layer_num-1;i>1;i--)

cur_ts[i]=(2*alpha*(width/layer_num)/lamda*(tf2)+4*cur_t[i-1]-cur_t[i-2])/(3+2*alpha*(width/layer_num)/lamda);

cur_temp[0]=cur_t[0];

cur_temp[1]=cur_t[1];

for (i=2;i<layer_num-1;i++)

cur_temp[i]=cur_t[i]+cur_ts[i];

cur_temp[layer_num-1]=cur_ts[layer_num-1];

intcomp_t()

int i;

for (i=0;i<layer_num;i++)

if (fabs(prev_temp[i]-cur_temp[i])>=eps)

return 0;

return 1;

voidout_cur_t(intiter_num)

int i;

fprintf(out,"%d: ",iter_num);

fprintf(out,"%0.6lf %0.6lf ",cur_temp[0],cur_temp[1]);

for (i=2;i<layer_num-1;i++)

fprintf(out,"%0.6lf ",cur_temp[i]);

fprintf(out,"%0.6lf\n",cur_temp[layer_num-1]);

```