

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Санкт-Петербургский горный университет»**



*На правах рукописи*

**Степанова Людмила Викторовна**

**ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ СРЕДСТВ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ  
РАБОТНИКОВ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТЕПЛООВОГО КОМФОРТА  
ПОДЗЕМНОГО ПЕРСОНАЛА УГОЛЬНЫХ ШАХТ**

*Специальность 05.26.01 – Охрана труда (в горной промышленности)*

**Диссертация**

**на соискание ученой степени кандидата технических наук**

**НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ –  
доктор технических наук,  
профессор М.Л. Рудаков**

Санкт-Петербург – 2019

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ.....</b>	<b>5</b>
<b>ГЛАВА 1 АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАБОТНИКОВ УГОЛЬНЫХ ШАХТ СРЕДСТВАМИ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ.....</b>	<b>12</b>
1.1 Нормативно-правовая база в области обеспечения работников средствами индивидуальной защиты от общих производственных загрязнений.....	12
1.2 Условия труда подземного персонала угольных шахт.....	14
1.3 Оценка теплового комфорта работников.....	20
1.4 Современное состояние научных исследований в области средств индивидуальной защиты от общих производственных загрязнений для обеспечения теплового комфорта работников.....	26
1.5 Выводы по главе 1.....	28
<b>ГЛАВА 2 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ ТЕПЛООВОГО КОМФОРТА ПОДЗЕМНОГО ПЕРСОНАЛА УГОЛЬНЫХ ШАХТ.....</b>	<b>30</b>
2.1 Результаты анкетирования работников по вопросам теплового комфорта и применения СИЗ.....	30
2.2 Определение уровня энергозатрат работников методом интегрирования частоты сердечных сокращений.....	35
2.3 Определение показателей теплового комфорта работников.....	43
2.4 Выбор средств индивидуальной защиты от общих производственных загрязнений для различных категорий работ по уровню энергозатрат.....	46
2.5 Выводы по главе 2.....	47
<b>ГЛАВА 3 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛООВОГО СОСТОЯНИЯ ПОДЗЕМНОГО ПЕРСОНАЛА УГОЛЬНЫХ ШАХТ В ЗАГРЯЗНЕННЫХ УГОЛЬНОЙ ПЫЛЬЮ СРЕДСТВАХ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ.....</b>	<b>49</b>
3.1 Определение средней плотности загрязнения средств индивидуальной защиты подземного персонала угольных шахт.....	49

3.2 Экспериментальная оценка влияния загрязнения средств индивидуальной защиты работника угольной пылью на коэффициент теплопроводности материала.....	52
3.3 Экспериментальная оценка влияния загрязнения средств индивидуальной защиты работника угольной пылью на воздухопроницаемость материала.....	59
3.4 Определение теплового сопротивления комплекта средств индивидуальной защиты при его загрязнении угольной пылью.....	63
3.5 Определение показателей теплового комфорта работников в загрязненных угольной пылью средствах индивидуальной защиты.....	68
3.6 Выводы по главе 3.....	70
<b>ГЛАВА 4 КОНСТРУИРОВАНИЕ СРЕДСТВА ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ ДЛЯ РАБОТНИКОВ III КАТЕГОРИИ РАБОТ ПО УРОВНЮ ЭНЕРГОЗАТРАТ НА ОСНОВЕ ТОПОЛОГИИ ИХ ЗАГРЯЗНЕНИЯ УГОЛЬНОЙ ПЫЛЬЮ.....</b>	<b>71</b>
4.1 Экспериментальная оценка топологии загрязнения СИЗ угольной пылью для основных профессий горнорабочих и участков выполнения работ.....	71
4.2 Определение конструкции СИЗ, обеспечивающей тепловой комфорт работников, относящихся к III категории по уровню энергозатрат.....	75
4.3 Оценка теплового комфорта работников, относящихся к III категории по уровню энергозатрат в предложенном средстве индивидуальной защиты.....	81
4.4 Предложения по изменению корпоративных стандартов по охране труда угледобывающих компаний в части обеспечения работников средствами индивидуальной защиты.....	82
4.5 Выводы по главе 4.....	83
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....</b>	<b>84</b>
<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....</b>	<b>86</b>
<b>Приложение А.....</b>	<b>99</b>

<b>Приложение Б.....</b>	<b>99</b>
<b>Приложение В.....</b>	<b>106</b>
<b>Приложение Г.....</b>	<b>109</b>
<b>Приложение Д.....</b>	<b>115</b>

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность темы исследований.** Характерными особенностями добычи угля подземным способом являются высокий уровень физической нагрузки работников и наличие угольной пыли, приводящей к сильному загрязнению средств индивидуальной защиты и кожных покровов горнорабочих.

Основными средствами индивидуальной защиты (СИЗ), влияющими на тепловой комфорт подземного персонала угольных шахт, являются СИЗ от общих производственных загрязнений (шахтёрский костюм), выбор которых осуществляется на основе Типовых отраслевых норм выдачи СИЗ. Однако, в указанных нормах, отсутствует разделение профессий работников на категории работ по уровню энергозатрат и, как следствие, не учитывается различное количество теплоты, которое выделяется человеком при различных уровнях энергозатрат. Вследствие этого основная часть подземного персонала угольных шахт использует средства индивидуальной защиты, не учитывающие характер выполняемой работы. Это приводит к нарушению теплового комфорта работника, повышению температуры тела, увеличению интенсивности потоотделения. В результате происходит ухудшение состояния здоровья, снижение работоспособности и производительности труда, частичное или полное неиспользование работниками СИЗ.

Неиспользование работниками полного комплекта СИЗ приводит к различным видам кожных заболеваний. Согласно исследованиям А.Ф. Долженкова и С.Л. Тарасенко одной из причин заболеваемости работников с временной утратой трудоспособности на угольных шахтах определяют инфекции подкожной клетчатки и другие воспалительные заболевания - 5,15 случаев на 100 работающих. Это достаточно высокие значения, которые могут быть сопоставлены с заболеваниями костно-мышечной системы (9,12 случаев на 100 работающих) и травмами (5,75 случаев на 100 работающих).

Основная часть исследований, направленных на обеспечение теплового комфорта работников, посвящена нормализации теплового режима при ведении

поземных горных работ и отражена в работах С.Г. Гендлера, Ю.Д. Дядькина, Б.П. Казакова, Ю.В. Шувалова. Вопросы обеспечения теплового комфорта за счёт проектирования средств индивидуальной защиты посвящены работы Р.Ф. Афанасьевой, П.П. Кокеткина, Ю.Г. Сорокина, Т.В. Гущиной, И.Н. Савельевой, Е.Я. Сурженко, З.С. Чубаровой, О.К. Терпеновой, Е.В. Романова, А.Д. Астафьева, С.И. Слоневского.

Исследованиям взаимосвязи теплового состояния человека и теплофизических параметров СИЗ занимались А.Д. Астафьев, С.И. Слоневский, К.Ф. Фокин, С.П. Райхман.

Среди зарубежных учёных существенный вклад в решение вопросов обеспечения и оценки теплового комфорта внесли A. Barton, O. Edholm, K. Umbach, I. Holmer, Hakan O. Nilson, Paul C. Cropper, Tong Yang, Malkolm J. Cook, Dusan Fiala, Rehan Yousaf.

Однако, в настоящий момент недостаточно исследовано влияние загрязнения средств индивидуальной защиты угольной пылью на тепловое состояние работника. О важности решения этой проблемы свидетельствуют внесенные Министерством труда и социальной защиты изменения в Трудовой кодекс Российской Федерации, направленные на учёт фактических условий труда при выдаче работникам средств индивидуальной защиты.

В этой связи, обоснование параметров средств индивидуальной защиты работников для обеспечения теплового комфорта подземного персонала угольных шахт является актуальной задачей.

**Цель работы.** Обеспечение теплового комфорта работников угольных шахт за счет применения средств индивидуальной защиты от общих производственных загрязнений с определенными параметрами.

**Идея работы.** Параметры средств индивидуальной защиты от общих производственных загрязнений должны выбираться с учетом категории работ по уровню энергозатрат и степени загрязнения средств индивидуальной защиты угольной пылью в процессе трудовой деятельности подземного персонала

угольных шахт.

### **Основные задачи исследований.**

1. Определение показателя теплового комфорта подземного персонала угольных шахт при работе в средствах индивидуальной защиты от общих производственных загрязнений.

2. Проведение экспериментальной оценки влияния загрязнения СИЗ угольной пылью на параметры, определяющие тепловой комфорт работника.

3. Определение показателя теплового комфорта подземного персонала угольных шахт при работе в загрязненных СИЗ.

4. Определение топологии загрязнения угольной пылью СИЗ подземного персонала угольных шахт.

5. Конструирование экспериментального образца СИЗ, обеспечивающего тепловой комфорт работников III категории работ по уровню энергозатрат.

### **Научная новизна:**

– установлена закономерность изменения теплового комфорта работника в зависимости от категории работ по уровню энергозатрат при добыче угля подземным способом в средствах индивидуальной защиты от общих производственных загрязнений;

– выявлена зависимость показателя теплового комфорта подземного персонала угольных шахт от средней плотности загрязнения применяемых средств индивидуальной защиты угольной пылью.

### **Основные защищаемые положения:**

1. Для обеспечения теплового комфорта подземного персонала угольных шахт выбор средств индивидуальной защиты от общих производственных загрязнений следует проводить с учетом категории работ по уровню энергозатрат.

2. Показатель теплового комфорта подземного персонала угольных шахт следует оценивать с учётом изменения теплофизических параметров средств

индивидуальной защиты при их загрязнении угольной пылью.

3. Тепловой комфорт работника при выполнении работ III категории по уровню энергозатрат обеспечивается конструкцией средств индивидуальной защиты от общих производственных загрязнений, учитывающей топологию загрязнения поверхности средства индивидуальной защиты угольной пылью.

**Методология и методы исследований.** Работа выполнена с использованием комплексного метода исследований, включающего: сбор, анализ и обобщение информации о существующих средствах индивидуальной защиты от общих производственных загрязнений; экспериментальные исследования уровня энергозатрат работников и изменения теплофизических параметров средств индивидуальной защиты при их загрязнении угольной пылью.

**Достоверность результатов** обусловлена обоснованным использованием методов расчёта и специализированных компьютерных программ для математической обработки данных; применением современного метрологически поверенного оборудования; хорошей сходимостью полученных результатов с данными экспериментальных исследований.

**Теоретическая и практическая значимость:**

- обоснованы параметры СИЗ от общих производственных загрязнений, обеспечивающие тепловой комфорт подземного персонала угольных шахт;
- разработаны предложения по изменению корпоративных стандартов по охране труда угледобывающих компаний в части обеспечения работников средствами индивидуальной защиты, с учётом категории работ по уровню энергозатрат и загрязнения СИЗ угольной пылью.

**Реализация результатов работы:**

- результаты исследований были использованы в ООО Шахтоуправление «Садкинское» в области обеспечения работников средствами индивидуальной защиты (акт №05/61 от 27.06.2019);
- результаты и выводы, содержащиеся в работе, могут использоваться в

программах высшего профессионального и дополнительного профессионального образования, реализуемых Горным университетом.

**Апробация работы:**

– результаты исследований и основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на всероссийских и международных конференциях: 3-ья международная научно-практическая конференция «EUROPEAN RESEARCH: INNOVATION IN SCIENCE, EDUCATION AND TECHNOLOGY» 23-24 апреля 2015 г. Москва; Международная научно-практическая конференция, посвященная 110-летию горного факультета, «Горное дело в XXI веке: технологии, наука, образование» 28-29 октября 2015, г. Санкт-Петербург; 11-ая международная научно-практическая конференция молодых ученых и студентов по проблемам горной промышленности, строительства и энергетики «Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики», 5-6 ноября 2015, г. Тула; III Международная научно-практическая конференция «Инновации на транспорте и в машиностроении», 28-29 апреля 2016, г. Санкт-Петербург; Международная конференция «Innovations in Geology, Mining, Processing, Economics, Safety, and Environmental Management», 08-10.06.2016, Фрайберг, Германия; III Международная научно-практическая конференция «Промышленная безопасность предприятий минерально-сырьевого комплекса в XXI веке», 16 ноября 2016, г. Санкт-Петербург; XVI конференция «Актуальные вопросы охраны труда: внедрение системы управления охраной труда на предприятии», 28 апреля 2017, г. Псков; Конференция, посвящённая Всемирному дню охраны труда: "Оптимизация, сбор и использование данных по охране труда: Укрепление основ культуры профилактики", 27 апреля 2017 г., г. Санкт-Петербург; Международная инновационная конференция "Природные процессы в нефтегазовой отрасли. Geonature 2017", 25-26 апреля 2017 г., г. Тюмень; XI Форум Союзного государства ВУЗов инженерно-технологического профиля «Глобальная энергетика: партнерство и устойчивое развитие стран и технологий», 23-27 октября 2017, г. Минск, Республика Беларусь; IX Всероссийская научно-практическая

конференция «Сервис безопасности в России: опыт, проблемы, перспективы. Обеспечение комплексной безопасности жизнедеятельности населения», 27 сентября 2017, г. Санкт-Петербург; Конференция «Вопросы повышения безопасности и здоровья работников на производстве, в том числе молодого поколения» 26 апреля 2018, г. Санкт-Петербург; Международная научно-практическая конференция «Earth in a trap? 2018 Analytical Methods in Fire and Environmental Sciences», 23-25 апреля 2018, Словацкая республика; Всероссийская научно-практическая конференция «Актуальные вопросы охраны труда и промышленной безопасности», 18 апреля 2018, г. Тюмень; Международная научно-практическая конференция «Промышленная безопасность предприятий минерально-сырьевого комплекса в XXI веке», 25-26 октября 2018, г. Санкт-Петербург;

– экспериментальный образец средства индивидуальной защиты, обеспечивающего тепловой комфорт работников III категории работ по уровню энергозатрат, был реализован в виде полезной модели (заявка №2019104739).

**Личный вклад автора.** Сформулированы цель и задачи исследований; проведен анализ средств индивидуальной защиты от общих производственных загрязнений, применяемых на угольных шахтах; определен показатель теплового комфорта подземного персонала угольных шахт при работе в средствах индивидуальной защиты от общих производственных загрязнений; выполнена экспериментальная оценка влияния загрязнения СИЗ угольной пылью на параметры, определяющие тепловой комфорт работника; определен показатель теплового комфорта подземного персонала при работе в загрязненных СИЗ; определена топология загрязнения угольной пылью СИЗ подземного персонала угольных шахт; предложена конструкция средства индивидуальной защиты обеспечивающего тепловой комфорт работников III категории работ по уровню энергозатрат.

**Публикации.** Основные результаты диссертационной работы содержатся в 11 опубликованных работах, в том числе 4 из них – в изданиях, рекомендованных

ВАК Минобрнауки России, 1– в издании, индексированном международной базой данных SCOPUS, 2– в издании, индексированном международной базой данных Web of Science.

**Объем и структура работы.** Диссертация состоит из введения, 4 глав и заключения, изложенных на 115 страницах машинописного текста, содержит 22 рисунка, 12 таблиц, список литературы из 101 наименования.

# ГЛАВА 1 АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАБОТНИКОВ УГОЛЬНЫХ ШАХТ СРЕДСТВАМИ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ

## 1.1 Нормативно-правовая база в области обеспечения работников средствами индивидуальной защиты от общих производственных загрязнений

Средства индивидуальной защиты (СИЗ) – это средства, используемые работником для предотвращения или уменьшения воздействия вредных и опасных производственных факторов, а также для защиты от загрязнения. СИЗ применяются в тех случаях, когда безопасность работ не может быть обеспечена конструкцией оборудования, организацией производственных процессов, архитектурно-планировочными решениями и средствами коллективной защиты [3]. Средства индивидуальной защиты являются заключительным барьером между работником и воздействующими на него опасными и вредными факторами [67].

На работах с вредными и (или) опасными условиями труда, а также на работах, выполняемых в особых температурных условиях или связанных с загрязнением, работникам бесплатно выдаются прошедшие обязательную сертификацию или декларирование соответствия специальная одежда, специальная обувь и другие средства индивидуальной защиты, а также смывающие и (или) обезвреживающие средства в соответствии с типовыми нормами, которые устанавливаются в порядке, определяемом Правительством Российской Федерации [58].

Согласно классификации средств индивидуальной защиты по назначению в зависимости от защитных свойств, приведенной в Техническом регламенте таможенного союза ТР ТС 019/2011 «О безопасности средств индивидуальной защиты», выделяют средства индивидуальной защиты общих производственных загрязнений [77]. Под общими производственными загрязнениями понимаются факторы производственной среды (сухие, влажные, маслянистые) и условия работы, связанные с запыленностью воздуха, разбрызгиванием загрязненной

воды, воздействием красящих, склеивающих, маслянистых и других веществ (или продуктов труда) [16].

К средствам индивидуальной защиты от общих производственных загрязнений подземного персонала угольных шахт относится шахтёрский костюм, состоящий из двух взаимодополняющих предметов одежды (куртки и брюк) для защиты от загрязнения кожных покровов работника угольной пылью, который оказывает наибольшее влияние на тепловое состояние работников. Шахтёрский костюм изготавливается из плотных видов ткани, обладающих 4 классом защиты от пылепроницаемости согласно ГОСТ Р 12.4.299-2017 [21]. Основная часть шахтерских костюмов обрабатывается водоупорной и противогнилостной пропиткой.

Шахтёрский костюм предоставляется работникам в соответствии с Типовыми нормами бесплатной выдачи специальной одежды, специальной обуви и других средств индивидуальной защиты работникам действующих и строящихся шахт, разрезов и организаций угольной и сланцевой промышленности, занятым на работах с вредными и (или) опасными условиями труда, а также выполняемых в особых температурных условиях или связанных с загрязнением, утвержденными Приказом Минтруда России от 02.08.2013 № 341н (далее – Типовые нормы выдачи СИЗ) [78], и на основании результатов проведения специальной оценки условий труда. Все выдаваемые СИЗ должны иметь сертификат соответствия требованиям государственных стандартов [50].

Подземный персонал угольной шахты получает один шахтерский костюм на год для защиты от общих производственных загрязнений (тип А или Б) со светоотражающими накладками [34]. Горнорабочим очистного забоя, проходчикам, машинистам горных выемочных машин, электрослесарям подземным, забойщикам на отбойных молотках, горнорабочим по ремонту горных выработок, горным мастерам очистных и подготовительных забоев, горным мастерам горно-капитальных работ, занятым на работах в очистных и подготовительных забоях, установленный срок носки костюма шахтерского для защиты от механических воздействий и общих производственных загрязнений

(тип А или Б) со светоотражающими накладками, предусмотренного пунктом 1 настоящего подраздела, снижается на 3 месяца [78].



Рисунок 1.1 - Средство индивидуальной защиты от общих производственных загрязнений – шахтёрский костюм

Работодатель за счет собственных средств обязан обеспечивать уход за СИЗ от общих производственных загрязнений и их хранение, своевременно осуществлять стирку, сушку, ремонт и замену СИЗ. В этих целях работодатель вправе выдавать работникам 2 комплекта соответствующих СИЗ с удвоенным сроком носки [36, 48].

Ответственность за выдачу работникам прошедших в установленном порядке сертификацию соответствия СИЗ в соответствии с типовыми нормами, за организацию контроля за правильностью их применения работниками, а также за хранение и уход за СИЗ возлагается на работодателя (его представителя) [58]. Выдаваемые работникам СИЗ от общих производственных загрязнений должны соответствовать их полу, росту, размерам, а также характеру и условиям выполняемой ими работы. Однако в Типовых нормах выдачи СИЗ отсутствует разделение подземного персонала на профессии и всем работникам допускается выдавать одинаковые СИЗ от общих производственных загрязнений, несмотря на различные условия труда работников.

Работодатель имеет право с учетом мнения выборного органа первичной

профсоюзной организации или иного представительного органа работников и своего финансово-экономического положения устанавливать локальные нормы бесплатной выдачи работникам СИЗ от общих производственных загрязнений, улучшающие по сравнению с типовыми нормами защиту работников от загрязнения, а также заменять один вид средств индивидуальной защиты, предусмотренных типовыми нормами, аналогичным, обеспечивающим равноценную защиту [48, 79].

В этой связи необходимо обоснование параметров средств индивидуальной защиты от общих производственных загрязнений, соответствующих реальным условиям труда работников угольных шахт.

## **1.2 Условия труда подземного персонала угольных шахт**

Подземная разработка угольного месторождения заключается в осуществлении работ, обеспечивающих проведение выработок и добычу угля. Горные работы по извлечению угля и породы осуществляются в очистных и подготовительных выработках. Целью изучения условий труда работников является выявление характеристик производственной среды и трудового процесса, которые могут влиять на тепловой комфорт работника и параметры применяемых им средств индивидуальной защиты от общих производственных загрязнений.

Наиболее распространенными профессиями при добыче угля подземным способом являются: проходчик, горнорабочий очистного забоя, горнорабочий подземный, электрослесарь подземный и машинист горно-выемочных машин. Работы в угольных шахтах ведутся, как правило, в четырёхсменном режиме: три смены ведётся добыча угля, третья смена отводится на техническое обслуживание и ремонт оборудования. Подземный персонал угольной шахты работает в режиме непрерывной рабочей недели [6]. Продолжительность рабочей смены устанавливается не более 6 часов, помимо основной рабочего времени включает в себя: время для получения средств индивидуальной защиты и переодевание, время передвижения к месту работы и обратно, а также время на переодевание и сдачу средств индивидуальной защиты после рабочей смены [52].

На подземный персонал угольных шахт и их средства индивидуальной защиты в процессе выполнения производственных операций действует комплекс факторов производственной среды (угольная пыль, шум, вибрация, токсические вещества, излучения, неблагоприятный микроклимат и др.), уровни которых определяются по результатам специальной оценки условий труда [82]. Основные вредные и опасные факторы производственные факторы, влияющие на тепловой комфорт работников, приведены в таблице 1.1.

Указанные в таблице 1.1 опасные и вредные факторы оказывают воздействие как на работников, так и на применяемые ими средства индивидуальной защиты от общих производственных загрязнений, рассмотрим их подробнее.

На микроклиматические условия в угольной шахте в наибольшей степени влияет глубина проведения горных работ, протяженность и расположение горных выработок, способ проветривания, выделение тепла от оборудования, машин и механизмов, а также на не глубоких шахтах сезонные изменения температуры и погодных условий [25].

Условия микроклимата могут оказывать влияние на здоровье работников, их работоспособность и производительность труда подземного персонала угольных шахт [35]. В настоящий момент установленная предельно допустимая температура при которой допускается добыча угля составляет  $26^{\circ}\text{C}$  при скорости воздуха не менее 2 м/с и влажности до 90 % [13].

Относительная влажность воздуха в угольной шахте меняется от 70 - 80% в околоствольных дворах до 90-100% в конце очистных забоев [60].

Микроклиматические условия по степени влияния на самочувствие работника подразделяются на оптимальные, допустимые, вредные и опасные. Отнесение условий труда к классу (подклассу) условий труда при воздействии параметров микроклимата осуществляется согласно таблице 1.2 в следующей последовательности:

— на первом этапе класс (подкласс) условий труда определяется по температуре воздуха;

— на втором этапе класс (подкласс) условий труда корректируется в зависимости от влажности воздуха, скорости движения воздуха.

Таблица 1.1 - Основные вредные и опасные производственные факторы, влияющие на тепловой комфорт работника [22]

Природа действия фактора	Вид фактора	Характеристика фактора	Характеристика воздействия на организм работника	Характер воздействия на СИЗ
Физические	Микроклимат	Воздействие повышенных, либо пониженных температур окружающего воздуха	Перегрев или переохлаждение	-
Факторы трудового процесса	Механические	Острые края машин и механизмов, движущиеся и вращающиеся детали машин и механизмов, воздействие угольной пыли	Порезы, ушибы, переломы, различного вида микротравмы	Истирание и порезы элементов СИЗ, изменение теплофизических свойств при их загрязнении
	Тяжесть труда	Ходьба, наклоны корпуса, сгибание конечностей физическая и динамическая нагрузка, масса поднимаемого и перемещаемого груза	Усталость, раздражение, снижение уровня работоспособности	Необходимо отведение большого количества тепла от организма через СИЗ в окружающую среду

В рамках данной работы не рассматривались вопросы нормализации теплового режима угольных шахт, в связи с этим были выбраны только оптимальные и допустимые микроклиматические условия, согласно результатам специальной оценки условий труда [59]. Принималось такое сочетание оставляющих микроклимата, которое при воздействии на человека в течение

рабочей смены обеспечивает тепловой баланс организма. При котором, разность между величиной теплопродукции и суммарной теплоотдачей находится в пределах  $\pm 2$  Вт, доля теплоотдачи испарением влаги не превышает 30%. Указанные микроклиматические условия наиболее точно позволяют оценить влияние параметров средств индивидуальной защиты от общих производственных загрязнений на тепловой комфорт работника.

Таблица 1.2 - Отнесение условий труда по классу (подклассу) условий труда при воздействии параметров микроклимата [55]

Показатель	Категория работ	Класс условий труда								
		оптимальный	допустимый	вредный				опасный		
				1	2	3				
						3.1	3.2		3.3	3.4
Температура воздуха, °С	Ia	22,0 - 24,0	21,9 - 20,0	19,9 - 18,0	17,9 - 16,0	15,9 - 14,0	13,9 - 12,0	<12,0		
	Iб	21,0 - 23,0	20,9 - 19,0	18,9 - 17,0	16,9 - 15,0	14,9 - 13,0	12,9 - 11,0	<11,0		
	IIa	19,0 - 21,0	18,9 - 17,0	16,9 - 14,0	13,9 - 12,0	11,9 - 10,0	9,9 - 8,0	<8,0		
	IIб	17,0 - 19,0	16,9 - 15,0	14,9 - 13,0	12,9 - 11,0	10,9 - 9,0	8,9 - 7,0	<7,0		
	III	16,0 - 18,0	15,9 - 13,0	12,9 - 12,0	11,9 - 10,0	9,9 - 8,0	7,9 - 6,0	<6,0		
Скорость движения воздуха, м/с	Ia			Учитывается в температурной поправке на охлаждающее действие ветра. При скорости движения воздуха, большей или равной 0,6 м/с, условия труда признаются вредными для всех категорий работ						
	Iб									
	IIa									
	IIб									
	III									
Влажность воздуха, %	I - III	60-40	15 - <40; >60 - 75	<15-10	< 10	-	-	-		

Согласно результатам специальной оценки труда (СОУТ) на угольных шахтах присутствуют высокие уровни показателей тяжести трудового процесса. Основные профессии работников относятся к 3.1-3.3 классу условий труда.

Тяжесть выполнения трудовой функции работников обусловлена подъемом и перемещением грузов вручную, уборкой породы, зачисткой лавы, погрузкой угля на конвейер, вынужденными наклонами корпуса под углом более  $30^\circ$  и перемещениями в пространстве [84]. Тяжесть выполняемой работы непрерывно связана с количеством энергии затраченным работником на ее выполнение и соответственно с количеством выделяемого тепла организмом человека в окружающую среду. Существуют два основных способа оценки тяжести труда работников - эргономический анализ рабочей нагрузки и физиологическое исследование трудового напряжения.

Эргономический анализ рабочей нагрузки определяет положение работника в процессе труда (сидя или стоя) и его позу.

Физиологическое исследование трудового напряжения включает исследование реакции организма на мышечную нагрузку или ее сочетание с тепловой нагрузкой, проявляющаяся в напряжении двигательного аппарата, функций кровообращения, дыхания, газообмена и терморегуляции. Тяжесть труда определяется на основе изменения частоты сердечных сокращений и уровня энергозатрат работника [36]. Уровень энергозатрат подземного персонала угольной шахты при выполнении ими основной трудовой функции достаточно высокий, например, у ГРОЗ и проходчиков до 4,4–6,4 ккал/мин. Объективными показателями выполнения работ с высоким уровнем энергозатрат является изменение частоты сердечных сокращений (пульса) работника и увеличение объема поглощаемого кислорода. Например, у горнорабочего очистного забоя частота сердечных сокращений в течении смены составляет от 85 до 100 ударов в минуту, а объем лёгочной вентиляции – 14 - 20 л/мин [87]. При выполнении своей трудовой функции проходчик затрачивает еще большее количество энергии и среднее значение частоты сердечных сокращений составляет 85 - 135 ударов в минуту, при этом объем легочной вентиляции повышается до 12 - 20 л/мин. Перемещение по наклонным выработкам вверх или вниз так же требует большого уровня энергетических затрат около 5 ккал/мин. Зачастую выполнение подземных горных работ связано перегрузкой отдельных мышц или групп мышц за счёт

работы в неудобной позе. При перемещении в забоях, разрабатывающих тонкие и весьматонкие угольные пласты нагрузка может достигать 7 ккал/мин [11].

Таким образом, все основные профессии подземного персонала угольной шахты как в очистном, так и в подготовительном забоях шахты, даже механизированной, относятся к тяжелым, поэтому при выборе СИЗ необходимо уделять особое внимание необходимости отведения выделяемого тепла от тела работника.

Основным загрязнителем средств индивидуальной защиты является угольная пыль, которая образуется при всех операциях и процессах добычи угля подземным способом. Количество угольной пыли зависит от горно-геологических условий (крепость, марка, влажность угля и др.), способа добычи и транспортировки угля [88]. На рабочих местах горнорабочих подземных, проходчиков, машинистов горно-выемочных машин, горнорабочих очистного забоя содержание пыли может превышать предельно допустимую концентрацию (ПДК) в десятки и сотни раз [12]. Наибольшая концентрация угольной пыли в воздухе рабочей зоны горнорабочих достигается на участке добычи угля ( $173,9 \pm 8,5$  мг/м<sup>3</sup>, что выше предельно допустимой концентрации почти в 30 раз). На участках выполнения работ проходчиками, МГВМ, горнорабочими подземными также выявлены повышенные значения концентрации угольной пыли, превышающие предельно допустимые в 16-20 раз, средние концентрации составляют  $97,3 \pm 12,5$ - $122,8 \pm 36,6$  мг/м<sup>3</sup> [10].

Повышенная запылённость воздуха приводит к загрязнению кожных покровов работников, и при относительно постоянной температуре воздуха в шахте и высокой влажности влечет за собой различные виды кожных заболеваний. Среди отраслей промышленности России, угольная занимает ведущее место по уровню заболеваемости с временной утратой трудоспособности, в том числе и грибковой патологией. Отношение количества заболеваний различными формами гнойно-кожных поражений к общему числу заболеваний составляет 10,7 [68]. Основными видами кожных заболеваний являются пиодермиты, на которые приходится более 80% кожных заболеваний

среди основных профессий подземного персонала угольных шахт [83]. Помимо этого, угольной пылью загрязняются средства индивидуальной защиты работников.

Оценка условий труда основных профессий работников угольных шахт, позволяет отнести их к категории вредных. Формирование условий труда и теплового состояния подземного персонала угольных шахт зависит от горно-геологических условий, технологии добычи угля, параметров микроклимата на рабочих местах и средств индивидуальной и коллективной защиты работников.

### **1.3 Оценка теплового комфорта работников**

Сохранение постоянной температуры тела организма возможно лишь путем соблюдения теплового баланса, т.е. при условии, что продуцированное тепло равно теплу, отдаваемому во внешнюю среду. Чтобы уравновесить теплопродукцию и теплоотдачу, организм человека должен иметь соответствующий механизм терморегуляции [4].

Под терморегуляцией подразумевают способность организма контролировать теплообмен, поддерживая температуру тела постоянной. Выделяют физический и химический вид терморегуляции. При физическом виде терморегуляции управление механизмом теплообмена осуществляется путем изменения количества передачи тепла в окружающую среду. При химической терморегуляции изменяется количество производимого организмом тепла. В условиях теплового комфорта количество производимого тепла в единицу времени соответствует количеству тепла, выделяемого в окружающую среду [30].

В определение теплового комфорта также входит приятное теплоощущение человека, т.е. субъективная оценка теплоощущения самим человеком. Теплоощущения работника отражают воздействие следующих факторов: температуры воздуха, скорости движения воздуха, влажности воздуха, уровня энергозатрат работника и теплофизических свойств средств индивидуальной защиты [61].

Система терморегуляции работника обеспечивает физиологическое регулирование теплового баланса и обеспечивает поддержание теплового

комфорта в различных условиях. Однако, при определении теплового комфорта должны учитываться как субъективные, так и объективные показатели теплового состояния. Иначе говоря, при оценке параметров микроклимата и их влияния на работника, необходимо учитывать и оценивать инструментальные измерения параметров (температура, влажность и скорость движения воздуха) и данные о реакциях системы терморегуляции работника на комплексное воздействие микроклиматических условий [69].

Существуют различные методы оценки теплового комфорта работников, основная часть из них основана на результатах математического расчёта теплообмена работника с окружающей средой [1, 28, 74, 86]. В настоящий момент активно применяются многопараметрические биометеорологические индексы. Например, эффективная температура  $ЭТ$ , применяется для оценки теплоощущений при совместном воздействии относительной влажности воздуха и температуры, при которых значение теплоотдачи и теплоощущения будут равны. Эффективная температура измеряется в градусах температуры неподвижного насыщенного водяным паром воздуха. Для расчёта  $ЭТ$  используется зависимость, предложенная Ф. А. Миссенардом [33]:

$$ЭТ = t - 0,4(t - 10) \left(1 - \frac{f}{100}\right), \quad (1.1)$$

где  $f$  — среднесуточная относительная влажность воздуха, %;  $t$  — среднесуточная температура воздуха, °С.

Индекс эффективной температуры применяется в условиях неподвижного воздуха, что не допустимо в условиях подземной добычи угля.

Для учета эффекта от движения воздуха Б.А. Азейнштатом было введено понятие эквивалентно-эффективной температуры [1].

Эквивалентно-эффективная температура ( $ЭЭТ$  или  $ЕТ$ ) определяется по зависимости:

$$ЕТ = 37 - \frac{37-t}{0,68-0,0014f+\frac{1}{1,76+1,4v^{0,75}}} - 0,29t \left(1 - \frac{f}{100}\right), \quad (1.2)$$

где  $t$  — температура воздуха, °С;  $f$  — относительная влажность воздуха, %;  $v$  —

средняя скорость ветра.

Эквивалентно-эффективная температура не учитывает свойства средств индивидуальной защиты работников от общих производственных загрязнений, которые существенным образом влияют на тепловое состояние работников.

И. В. Бутьевой для оценки теплового комфорта предложен индекс нормальной эквивалентно-эффективной температуры *НЭЭТ*, которая используется для аналитической оценки теплоощущений человека в одежде [20] и рассчитывается по формуле (1.3). Однако данный метод не получил широкого распространения и не учитывает физические нагрузки работников во время выполнения работы.

$$НЭЭТ = 0,8 \cdot ET + 7^{\circ}C \quad (1.3)$$

С.С. Андреевым и Е. Г. Головиной предложены несколько методов, позволяющих определить одновременное суммарное влияние на тепловое состояние работника температуры воздуха, влажности воздуха, скорости движения воздуха и воздействие солнечной радиации. С.С. Андреевым предложен индекс — биологически активная температура (БАТ), Е. Г. Головиной был введен показатель — радиационно-эквивалентно- эффективная температура (РЭЭТ) [12]. При работе в подземных условиях отсутствует солнечная радиация, поэтому данные методы не могут быть использованы в рамках данной работы.

Существуют методы оценки теплового комфорта, основанные только на субъективных теплоощущениях самих работников. Например, в исследованиях Bedford [90] давал численную оценку теплоощущениям работников. В настоящее время численный подход к оценке теплоощущений работников стал общераспространенным.

Известен метод оценки теплового комфорта, разработанный П.О. Фангером [91], который отличается использованием только объективных параметров оценки теплового состояния и позволяет комплексно учесть температуру, влажность и подвижность воздуха, теплопродукцию человека и тепловую изоляцию средств индивидуальной защиты. Соответствующий числовой показатель теплового комфорта обозначается PMV (Predicted Mean Vote) и пропорционален разности

между тепловыделением, которым характеризуется физическая активность работника, и суммарными теплопотерями [99].

В настоящий момент метод оценки теплового комфорта, предложенный П.О. Фангером, утверждён международным стандартом ISO 7730 [94]. На основе указанного стандарта разработан ГОСТ Р ИСО 7730- 2009 Эргономика термальной среды «Аналитическое определение и интерпретация комфортности теплового режима с использованием расчета показателей PMV и PPD и критериев локального теплового комфорта» [19]. Указанный метод учитывает энергозатраты работника, коэффициент теплоизоляции одежды, коэффициент площади поверхности одежды, температуру воздуха, скорость движения, влажность воздуха и другие параметры, влияющие на тепловое состояние работника.

Таблица 1.3 - Семибалльная шкала оценки теплового комфорта

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

Отличительной особенностью оценки теплового комфорта подземного персонала угольных шахт является их высокий уровень физической нагрузки во время выполнения работ. Во время выполнения тяжелых работ связь теплоощущений с объективными показателями теплового состояния человека выражена в меньшей степени.

Организм человека вырабатывает теплоту за счет метаболизма, вследствие пищеварения и мускульной активности. В состоянии покоя основную часть тепла вырабатывают внутренние органы (около 56%) и только 18% производится в мышцах и коже. Во время физической нагрузки выработка тепла мускульной

работой увеличивается в несколько раз и доля тепла, вырабатываемого мускулами, может вырасти до 90% [27].

При физических нагрузках повышение температуры тела регулируется физиологически и не является следствием функциональной недостаточности терморегуляторного аппарата.

От тяжести выполняемой работы так же зависят изменения температуры тела и кожи работника (таблица 1.4).

Таблица 1.4 - Температура тела и средневзвешенная температура кожи человека при выполнении работы высокой интенсивности [92]

Энергозатраты, Вт	Температура тела работника, °С		СВТК, °С	
	Средняя	Максимальная	Средняя	Максимальная
201	37,1	37,9	31,5	35,9
281	37,4	37,9	31,0	35,0
377	37,7	38,0	30,0	34,0

Усиление кровотока, необходимое для увеличения теплоотдачи путем переноса тепла от более нагретых внутренних органов к поверхности кожи, в условиях тяжелой физической нагрузки обеспечивается главным образом за счет увеличения количества сокращений сердечной мышцы в единицу времени. При значительной физической нагрузке в нагревающем микроклимате:

- увеличивается частота пульса (до 90-140 ударов в минуту),
- возрастает частота дыхания (до 20-26 циклов в минуту),
- повышается систолическое и диастолическое давление (примерно на 10 мм рт. ст.) [32].

Краткий обзор изменений «показателей теплового состояния» человека, выполняющего физическую работу различной интенсивности, показывает, что субъективные ощущения тепла зависят не только от физических факторов микроклимата, но и от характера деятельности работника и применяемых им средств индивидуальной защиты [8].

От того, как человек оценивает свое тепловое состояние, в значительной мере зависит его умственная и физическая работоспособность. Показатели теплового состояния, обеспечивающие тепловой комфорт приведены в таблице 1.5.

Таблица 1.5 - Показатели теплового состояния, положенные в основу выработки требований к параметрам оптимального и допустимого микроклимата [81].

Характер работы	Расход энергии, Вт		Средняя температура ядра, °С	Среднее значение свтк, °С	Влагопотери, г/ч	Частота сердечных сокращений, уд./мин
Легкая категория	до 139	верхняя	37,4	35,2	100	85
		оптимальные	36,9	34,4 - 32,2	40 - 60	до 80
		нижняя	36,7	31,7	40	-
Легкая категория	140-174	верхняя	37,5	34,8	145	95
		оптимальные	37,0	34,1 - 32	61 - 100	до 90
		нижняя	36,8	31,6	60	-
Средняя категория	175-232	верхняя	37,7	34,3	175	110
		оптимальные	37,1 - 37,5	33,0 - 31,2	80 - 150	до 110
		нижняя	36,9	30,6	80	-
Средняя категория	233-290	верхняя	37,8	33,2	210	120
		оптимальные	37,2	33,8 - 30,1	100 - 190	до 110
		нижняя	37,0	30,0	100	-
Тяжелая	от 290	верхняя	37,9	32,6	300	130
Тяжелая категория III	291-349	оптимальные	37,3	31,0 - 29,1	120 - 250	до 110
		нижняя	37,2	29,0	120	-

#### **1.4 Современное состояние научных исследований в области средств индивидуальной защиты от общих производственных загрязнений для обеспечения теплового комфорта работников**

Современное состояние научных исследований в области средств индивидуальной защиты от общих производственных загрязнений направлено на

изучение особенностей терморегуляции работника в различных видах средств индивидуальной защиты, основное внимание уделено работам в условиях крайнего севера, в условиях нагревающего микроклимата, а также при проведении аварийно-спасательных работ.

В настоящий момент разработаны параметры оценки теплового комфорта и проведены исследования воздействия параметров микроклимата и их комбинаций на тепловое состояние организма работников, на их здоровье и работоспособность [7]. Обосновано влияние средств индивидуальной защиты работников на их тепловое состояние и даны оценки максимально допустимого времени воздействия неблагоприятных микроклиматических факторов. При оценке теплового состояния работника разработаны методы исследования его физиологических систем и методы определения степени напряжения механизмов терморегуляции.

Существующие требования к параметрам микроклимата в угольных шахтах, которые предусматривают отнесение условий труда к классу условий труда при воздействии параметров микроклимата: на основе измерений температуры воздуха, влажности воздуха, скорости движения воздуха на рабочих местах. Оценка параметров микроклимата предполагает наличие у работника средств индивидуальной защиты с коэффициентом теплоизоляции 1 clo [47], однако выдаваемые подземному персоналу угольной шахты СИЗ от общих производственных загрязнений (шахтёрский костюм) имеет коэффициент теплоизоляции не менее 1,2 clo, таким образом при оценке теплового комфорта работников не учитываются применяемые им средства индивидуальной защиты от общих производственных загрязнений, что может приводить к нарушению теплового комфорта работников.

Теплофизические параметры средств индивидуальной защиты (СИЗ), их конструкция, масса существенным образом влияют на теплообмен работника с окружающей средой, поэтому применение средств индивидуальной защиты не соответствующих условиям труда работника может существенно ухудшить тепловое состояние человека [66, 80]. Материалы для изготовления

СИЗ работников угольных шахт используемые для защиты от нетоксичной пыли имеют низкую воздухопроницаемость и паропроницаемость, что может существенно увеличить вероятность перегревания работника за счет снижения потерь тепла испарением влаги [76, 99]. В связи с этим в целях оценки теплового комфорта работника важно учитывать теплофизические параметры применяемых им средств индивидуальной защиты.

В настоящий момент не изучено влияние загрязнения средств индивидуальной защиты угольной пылью на их теплофизические параметры, а соответственно и на тепловой комфорт работника.

При правильном выборе средств индивидуальной защиты от общих производственных загрязнений можно существенно улучшить условия труда работников и обеспечить их тепловой комфорт следующими способами:

— при заданных параметрах средств индивидуальной защиты от общих производственных загрязнений, определяющих эффективную теплоизолированность человека, необходимо оценить какие параметры микроклимата будут приводить к ощущениям комфорта;

— какая должна быть степень теплоизоляции СИЗ работника, выполняющего определенную работу (с заданным энерговыделением) в условиях, определяемых параметрами фактических условий микроклимата [65].

### **1.5 Выводы по главе 1**

1. В настоящий момент выбор средств индивидуальной защиты от общих производственных загрязнений происходит только на основе Типовых отраслевых норм выдачи СИЗ без учёта условий труда подземного персонала угольных шахт, поэтому необходимо обоснование параметров средств индивидуальной защиты от общих производственных загрязнений соответствующих реальным условиям труда работников угольных шахт.

2. Условия труда подземного персонала угольных шахт характеризуются высоким уровнем энергозатрат, и как следствие образованием большого количества тепла, скорость отведения которого и соответственно тепловой

комфорт работника, зависит как от параметра микроклимата, так и от применяемых средств индивидуальной защиты от общих производственных загрязнений.

3. Оценку теплового комфорта подземного персонала угольных шахт следует проводить с учётом энергозатрат работника, коэффициента теплоизоляции средств индивидуальной защиты, коэффициента площади поверхности одежды, температуры воздуха, скорости движения и влажности воздуха.

4. Неприменение либо применение средств индивидуальной защиты от общих производственных загрязнений, не соответствующих условиям труда работников, приводит к загрязнению кожных покровов работников угольной пылью и при относительно постоянной температуре воздуха в шахте и высокой влажности влечет за собой различные виды кожных заболеваний.

## ГЛАВА 2 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ ТЕПЛООВОГО КОМФОРТА ПОДЗЕМНОГО ПЕРСОНАЛА УГОЛЬНЫХ ШАХТ

### 2.1 Результаты анкетирования работников по вопросам теплового комфорта и применения СИЗ

Для анализа теплоощущений подземного персонала угольных шахт, а также выявления основных причин неприменения средств индивидуальной защиты от общих производственных загрязнений работниками в процессе ее эксплуатации был выбран метод анкетирования.

Анкетирование было проведено на четырех шахтах: «Шахта им. С.М.Кирова», «Шахта Полысаевская» и «Шахта им. В.Д. Ялевского», «Шахтоуправление «Садкинское». В результате было опрошено более 100 респондентов в возрасте от 20 до 55 лет. Анкетирование проходили работники основных профессий, занятых на добыче угля подземным способом: проходчики, подземные горнорабочие, горнорабочие очистного забоя, машинисты горно-выемочных машин, слесаря подземные.

При проведении анкетирования гарантировалась полная анонимность анкет, допускалась возможность отвечать не на все поставленные вопросы, а также указывать свое мнение, при отсутствии предполагаемого ответа из предложенных. Согласно ТК Российской Федерации работник обязан применять СИЗ, в том числе специальную одежду при выполнении работ [58], однако результаты анкетирования говорят о том, что большая часть работников частично или постоянно не использует специальную одежду при выполнении работ (рисунок 2.1). Причем, основными причинами неприменения специальной одежды являются нарушение теплового комфорта при выполнении работ - 38% работников не применяют полный комплект СИЗ от общих производственных загрязнений по причине нарушения теплового комфорта (рисунок 2.2). Ощущение теплового комфорта создается при поддержании в организме человека определенного соотношения процессов теплообразования и теплоотдачи [74]. Опрос работников показал, что более чем половина работников вынуждена

расстегивать средства индивидуальной защиты от общих производственных загрязнений (шахтёрский костюм) или снимать их для поддержания теплового комфорта в процессе выполнения работы и только 8% респондентов работают в полном и застегнутом комплекте специальной одежды (рисунок 2.3).

*Как часто Вы полностью или частично НЕ ИСПОЛЬЗУЕТЕ полный комплект СИЗ от общих производственных загрязнений, выдаваемый работодателем?*

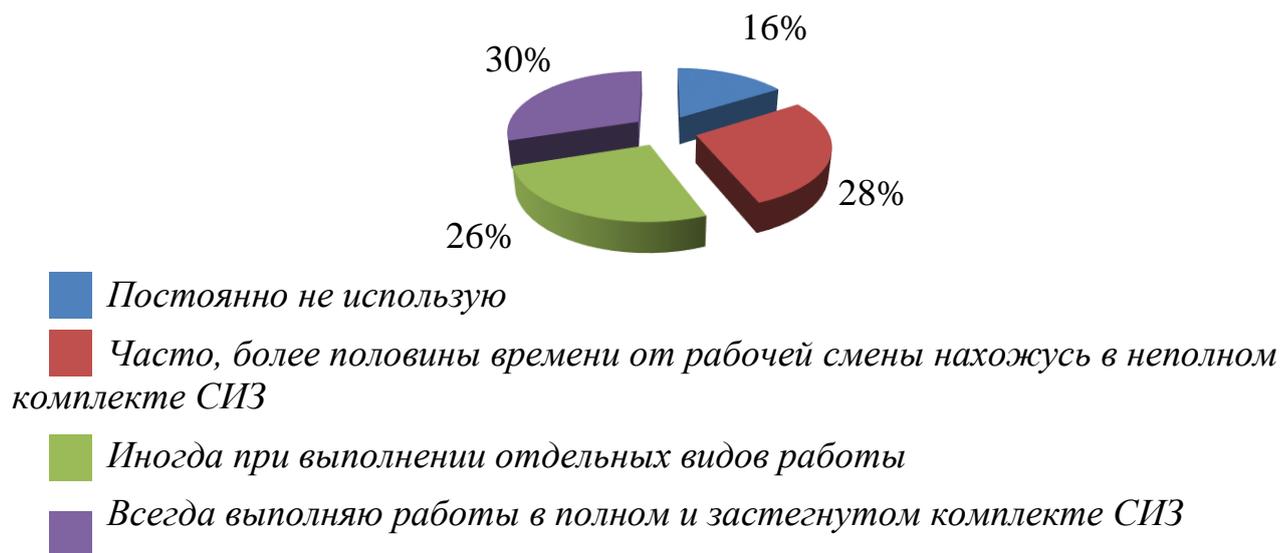
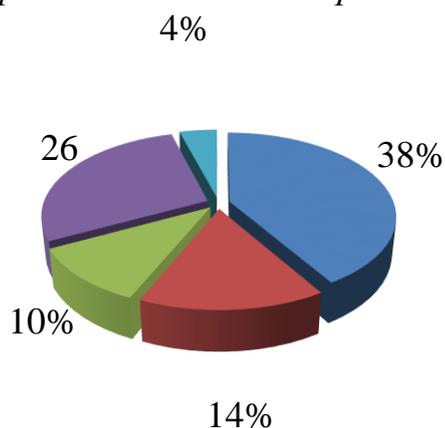


Рисунок 2.1 - Диаграмма распределения ответов работников на первый вопрос анкеты

Тепловой комфорт работника напрямую зависит от интенсивности выполняемой физической деятельности и характеристик выдаваемых ему средств индивидуальной защиты от общих производственных загрязнений [78]. При добыче угля подземным способом основная часть профессий работников относится ко IIа, IIб и III категории по уровню энергозатрат [84], несмотря на это работники получают идентичные средств индивидуальной защиты. В этой связи, далее в анкете работникам предлагалось оценить: необходимо ли учитывать категорию работ по уровню энергозатрат при выборе специальной одежды, а также насколько подходит фактически выдаваемая специальная одежда для выполняемой работы. Большая часть работников (32%) считают, что необходимо выдавать специальную одежду в зависимости от категории выполняемой работы по уровню энергозатрат, столько же респондентов отмечают что выдаваемый им комплект одежды не в полной мере подходит для выполнения ими трудовых обязанностей (рисунок 2.4).

Какие основные ПРИЧИНЫ неиспользования полного комплекта СИЗ от общих производственных загрязнений?



■ Не обеспечивается тепловой комфорт в процессе трудовой деятельности (жарко/холодно – нужно подчеркнуть)

■ Неудобная конструкция (сковывает движения, не достаточно приспособлений для крепления оборудования и инструментов)

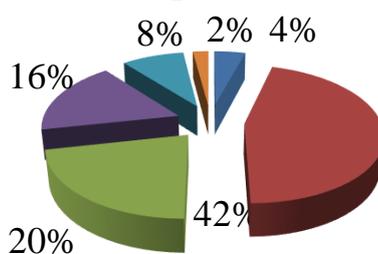
■ Неэффективная защита от угольной пыли и механических воздействий

■ Быстрая изнашиваемость костюма при частых стирках.

■ Нет ответа

Рисунок 2.2 - Диаграмма распределения ответов работников на второй вопрос анкеты

Приходится ли Вам НЕ ИСПОЛЬЗОВАТЬ выдаваемый комплект СИЗ от общих производственных загрязнений по причине теплового дискомфорта (ЖАРКО)?



■ Да, постоянно не использую

■ Да, не использую частично (снимаю куртку или брюки)

■ Иногда при выполнении тяжелых работ

■ Нет, но расстегиваю пуговицы на куртке

■ Нет, всегда выполняю работы в полном и застегнутом комплекте СИЗ

■ Нет ответа

Рисунок 2.3 - Диаграмма распределения ответов работников на третий вопрос анкеты

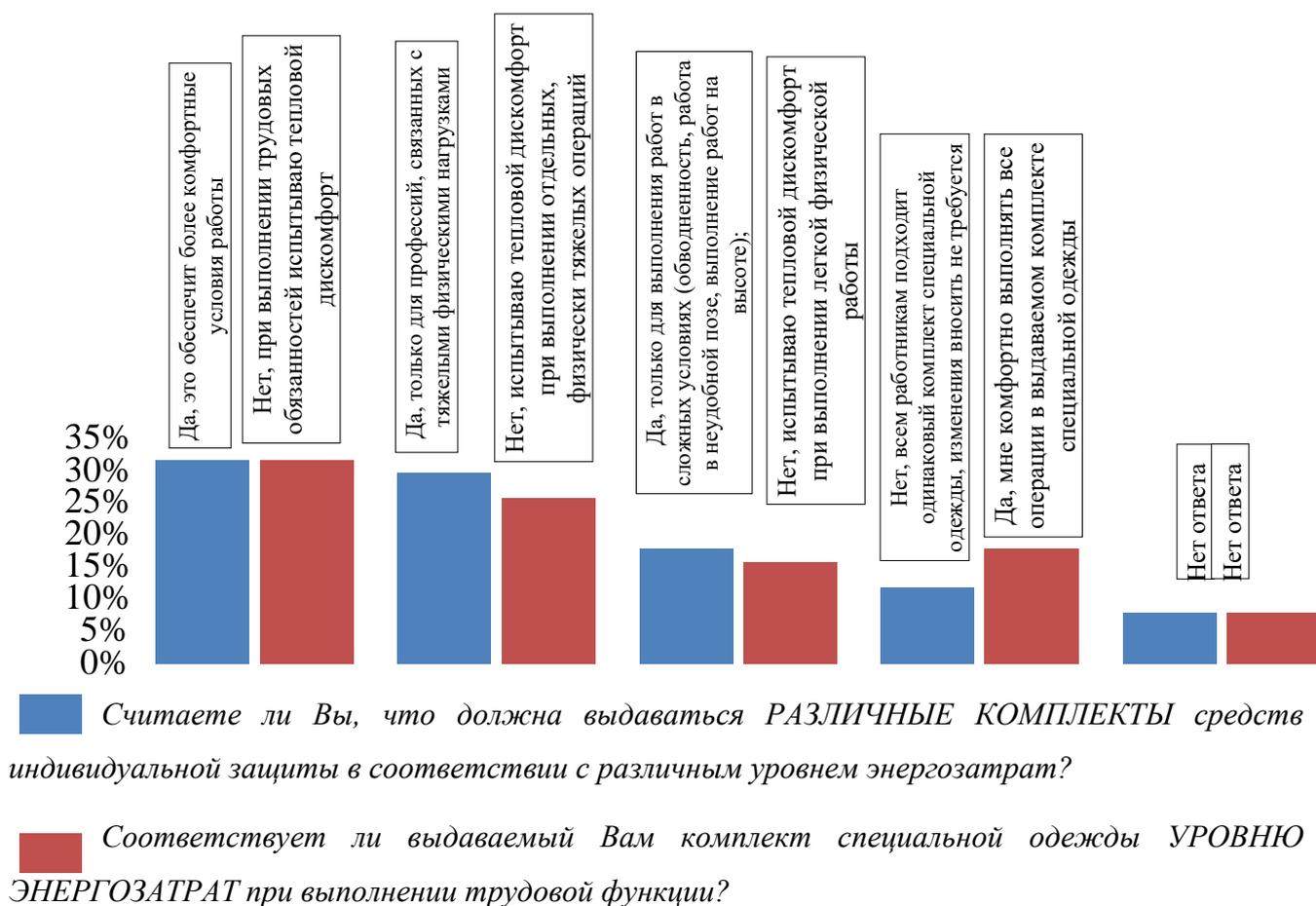


Рисунок 2.4 - Диаграмма распределения ответов работников на четвертый и пятый вопросы анкеты

В процессе выполнения работ средства индивидуальной защиты подвергаются загрязнению угольной пылью, что может приводить к изменению теплофизических параметров средств индивидуальной защиты, снижению уровня проницаемости и др. [87]. В этом вопросе мнения работников разделились: чуть более 30% респондентов считают, что загрязнение СИЗ существенно влияет на тепловой комфорт; чуть менее 30% работников считают, что влияние есть, но не значительное; 26% работников не замечают разницы теплоощущений в загрязненных и чистых средствах индивидуальной защиты.

Также в анкету был включен вопрос по топологии загрязнения специальной одежды. Работникам предлагалось выбрать несколько пунктов указывающих на зоны средств индивидуальной защиты (шахтёрского костюма), подвергающиеся наибольшему загрязнению в процессе работы. Полученные результаты приведены

в таблице 2.1.

Таблица 2.1 - Участки СИЗ, наиболее подверженные загрязнению по мнению работников [73]

№ п/п	Участки средств индивидуальной защиты от общих производственных загрязнений	Наиболее загрязняемые участки специальной одежды, % работников, указавших данный ответ от общего количества респондентов
1	Передняя часть брюк ниже колена	80
2	Задняя часть брюк ниже колена	75
3	Передняя часть брюк выше колена	65
4	Задняя часть брюк выше колена	63
5	Рукава до локтя	78
6	Рукава выше локтя	44
7	Область подмышечной впадины	6
8	Нижняя передняя часть куртки (область живота)	30
9	Верхняя передняя часть куртки (область груди)	22
10	Задняя часть куртки (область спины)	12

При анализе ответов работников о зонах наибольшего загрязнения СИЗ был выявлен значительный разброс указанных зон в зависимости от профессии участка выполнения работ, поэтому можно сделать вывод, что загрязняются средства индивидуальной защиты работников в зависимости от из профессии и участка выполнения работ.

В заключение анкеты были включены вопросы, касающиеся травматизма, в том числе микротравм, кожных заболеваний и несчастных случаев на производстве, связанных с неправильным применением либо неприменением средств индивидуальной защиты от общих производственных загрязнений. Были получены ответы о частом получении, получении порезов, ссадин, царапин, также ярко выражены различные кожные заболевания. Несчастные смертельные и тяжелые случаи по причине неиспользования СИЗ от общих производственных загрязнений отмечены не были.

Основные пожелания работников были направлены на обеспечение теплового комфорта при выполнении работ, использование современных материалов для изготовления средств индивидуальной защиты от общих производственных загрязнений.

В целом можно сделать вывод, что подземный персонал угольной шахты испытывает тепловой дискомфорт, особенно выраженный при выполнении работ высокой интенсивности, поэтому работники не применяют, расстёгивают или снимают средства индивидуальной защиты от общих производственных загрязнений. Однако, помимо субъективных факторов теплоощущений работников необходимо оценивать и объективные показатели теплового состояния подземного персонала угольных шахт [62].

## **2.2 Определение уровня энергозатрат работников методом интегрирования частоты сердечных сокращений**

Интенсивная физическая нагрузка может приводить к нарушению теплового равновесия организма за счёт выработки и эндогенной теплоты в результате процессов окисления в организме. Даже без физической активности обменные процессы в организме протекают с выделением тепловой энергии. При выполнении физической работы теплопродукция организма усиливается и может превысить уровень основного обмена в 10 и более раз. Например, передвижение горнорабочего по горизонтальным выработкам вызывает расход энергии до 290 Вт; по уклону под углом  $25^\circ$  – 390 Вт; спуск по лаве пологого залегания – 470 Вт;

передвижение вверх по наклонной лаве на четвереньках – до 1250 Вт [84]. При мышечной деятельности до 25% энергии человека превращается в механическую работу, а остальная выделяется в виде тепла в окружающую среду. Если бы продуцируемое тепло не выделялось из организма, то за один час интенсивной физической работы внутренняя температура тела могла бы повыситься с 37 до 47 °С [36].

При условиях микроклимата организм человека отдаёт тепло в окружающую среду, за счёт этого он сохраняет тепловое равновесие. При этом количество тепла, выделяющегося в организме, равно количеству тепла, отводимого организмом во внешнюю среду. Тепловое равновесие поддерживается благодаря функционированию системы терморегуляции организма. Если теплопередача в окружающую среду естественным путём становится затруднительной, то система терморегуляции организма начинает выделять пот на поверхности кожи, испарение которого способствует интенсивному теплоотводу, то есть, переносу тепла тела наружу, что сопровождается усилением сердечной деятельности, увеличением частоты сердечных сокращений (HR). В связи с этим, параметры микроклимата в угольной шахте должны обеспечивать поддержание допустимого теплового состояния работника в течение всей рабочей смены, а максимальная температура не должна превышать 26°С.

Энергетические затраты работника при выполнении физической работы характеризуются скоростью обмена веществ. При мышечной нагрузке химические вещества преобразуются в механическую энергию, идущую на выполнение трудовой функции и тепловую [86].

В настоящее время существует множество методов определения скорости обмена веществ человека. Наименее точными являются методы классификации работников по профессии или по виду деятельности. Для их использования не требуется осмотр рабочего места, необходима только информация о применяемых технических инструментах и оборудовании и основных трудовых операциях, выполняемых работником. Если есть возможность получения информации об

основных движениях работника при выполнении работы и их продолжительности, то используют методы, основанные на оценочных таблицах по видам деятельности, они обладают точностью в пределах 20%. Еще более точным, с погрешностью не более 10% является метод интегрирования ЧСС (частоты сердечных сокращений), в основе которого лежит фиксация ЧСС во время выполнения работы и последующий расчет энергетических затрат с помощью методики представленной в ГОСТ Р ИСО 8996-2008 [20].

Наиболее точными методами являются методы прямой и непрямой калориметрии (погрешность не более 5 %). Метод прямой калориметрии основан на измерении количества тепловой энергии, которая выделяется во время выполнения различных видов работы в специальных камерах с высокой степенью теплоизоляции. Метод непрямой калориметрии базируется на сопоставлении количества освобождаемой энергии в виде тепла с количеством поглощаемого кислорода, и количеством выдыхаемого углекислого газа. Эти метод требует длительных наблюдений, специального оборудования и являются сложными и дорогостоящими.

В рамках данной работы для определения скорости обмена веществ человека был выбран метод, базирующийся на фиксации частоты сердечных сокращений (пульса) в период выполнения трудовой функции работниками. В целом частота сердечных сокращений складывается на основе частоты сердечных сокращений в покое и ее увеличении при мышечной нагрузке, при динамических движениях, мышечной нагрузки при статическом удерживании объектов, при дополнительной термальной нагрузке, умственной нагрузке и других факторов [96]. Частота сердечных сокращений (HR) определяется по формуле (2.1):

$$HR = HR_0 + \Delta HR_M + \Delta HR_S + \Delta HR_T + \Delta HR_N + \Delta HR_E, \quad (2.1)$$

где  $HR_0$  - частота сердечных сокращений в покое, в положении лежа в нейтральных тепловых условиях, уд./мин;  $\Delta HR_M$  - увеличение частоты сердечных сокращений вследствие динамической мышечной нагрузки в нейтральных тепловых условиях, уд./мин;  $\Delta HR_S$  - увеличение частоты сердечных сокращений

вследствие статического напряжения мышц (этот компонент зависит от соотношения между прилагаемым усилием и максимальным принудительным усилием работающей группы мышц), уд./мин;  $\Delta HR_T$  - увеличение частоты сердечных сокращений вследствие термальной нагрузки, уд./мин;  $\Delta HR_N$  - увеличение частоты сердечных сокращений вследствие умственной нагрузки, уд./мин;  $\Delta HR_E$  - изменение частоты сердечных сокращений вследствие других факторов, например: респираторные воздействия, циркадные ритмы, обезвоживание, уд. /мин.

При выполнении основных видов работ по добыче угля подземным способом задействованы основные группы мышц, отсутствует термальная и умственная нагрузка, поэтому оценка уровня энергозатрат производилась на основе измерений частоты сердечных сокращений во время работы. В исследовании принимали участие работники шахты «Садкинская», выполняющие подземные горные работы следующих профессий: проходчик, машинист горно-выемочных машин, горнорабочий очистного забоя, горнорабочий подземный, электрослесарь подземный и горный мастер. Возраст работников варьировался от 20 до 50 лет. При предварительном опросе были выявлены как работники, ведущие активный и здоровый образ жизни, так и курящие работники, не следящие за своим здоровьем. В исследовании принимали участие только мужчины. Общая численность исследуемой группы - 20 человек [14].

Перед началом эксперимента определялись физиологические параметры каждого из участников (вес, рост и возраст), а также измерялся пульс работника в состоянии покоя (рисунок 2.5).

Измерение частоты сердечных сокращений работников производилось в среде с нейтральными термальными условиями, поэтому связь между частотой сердечных сокращений и уровнем энергозатрат имеет вид:

$$HR = HR_0 + RM (M - M_0), \quad (2.2)$$

где  $HR_0$  - частота сердечных сокращений в состоянии отдыха при нейтральных термальных условиях;  $RM$  - увеличение частоты сердечных сокращений на

единицу скорости обмена веществ;  $M$  - скорость обмена веществ, Вт·м<sup>-2</sup>;  $M_0$  - скорость обмена веществ в состоянии отдыха, Вт·м<sup>-2</sup>.



Рисунок 2.5 - Измерение ЧСС у машиниста горно-выемочных машин (МГВМ)

Основные результаты замеров частоты сердечных сокращений представлены в Приложении Б. Для определения уровня энергозатрат работника по формуле (2.2) было принято, что скорость обмена веществ в состоянии отдыха  $M_0$ , равна 55 Втм<sup>2</sup>. Так же для учета различного веса и возраста испытуемых был произведён расчёт максимальной трудоспособности MWC (Maximum Working Capacity), по следующей формуле для мужчин:

$$MWC = (41,7 - 0,22A) P^{0,666}, \quad (2.3)$$

где  $A$  – возраст работника, лет;  $P$  – масса работника, кг.

Максимальная частота сердечных сокращений  $HR_{max}$  оценивалась по следующей формуле:

$$HR_{max} = 205 - 0,62A, \quad (2.4)$$

На основе полученных данных было определено увеличение частоты сердечных сокращений на единицу скорости обмена веществ  $RM$ ;

$$RM = (HR_{max} - HR_0)/(MWC - M_0), \quad (2.5)$$

Подставив полученные значения в уравнение (2.2) получили уровень

энергозатрат каждого работника в процессе выполнения им трудовой функции (таблица 2.2).

Таблица 2.2 – Оценка уровня энергозатрат подземного персонала угольной шахты

Участок выполнения работы	Профессия	Основная выполняемая операция на момент проведения испытаний	Энергозатраты, Вт
Участок добычи угля	Горный мастер	Контроль выполнения работы согласно наряду (передвижение пешком по горизонтальной выработке)	164
	МГВМ (машинист горно- выемочных машин)	Добыча угля комбайном	305
	ГРП	Зачистка выработки, контроль работы ленточного конвейера	256
	ГРОЗ	Крепление лавы механической крепью, задвижка скрепкового конвейера	235
	Горнорабочий по ремонту горных выработок	Ремонт и крепления горных выработок	296
	Электрослесарь подземный	Контроль работы механизмов и оборудования на участке (отсутствие физической активности)	142
УПР (участок проходческих работ)	Проходчик	Обслуживание ленточного перегружателя, зачистка выработки, бурение шпуров для БВР	327
	Машинист горных выемочных машин	Проведение горной выработки комбайном, помощь при креплении	297
	Электрослесарь подземный	Контроль работы и обслуживания электрической аппаратуры, комбайна, конвейеров	184

Продолжение таблицы 2.2

Участок выполнения работы	Профессия	Основная выполняемая операция на момент проведения испытаний	Энергозатраты, Вт
УПР (участок проходческих работ)	Машинист подземных установок	Зачистка выработки, контроль работы ленточного конвейера	265
	ГРП (горнорабочий подземный)	Доставка материалов, оборудования до забоя, зачистка выработки, контроль работы ленточного конвейера	310
	Горный мастер	Контроль выполнения работы согласно наряду (передвижение пешком по горизонтальной выработке)	174
Участок вентиляции и ТБ	Электрослесарь подземный	Обслуживание и ремонт п\п оборудования	223
	Горнорабочий по ремонту горных выработок	Подготовка выработки для возведения вентиляционного сооружения	315
	Горнорабочий подземный	Ремонт возведения вентиляционных сооружений	278
Участок внутришахтного транспорта	Горнорабочий подземный	Доставка материалов, помощь машинистам самоходных машин (дизелевоза), зачистка конвейерных выработок	330
	Машинист подземных установок	Зачистка выработки, контроль работы ленточного конвейера	252
	Машинист подземных самоходных машин	Доставка материалов и людей	238
	Горнорабочий по ремонту горных выработок	Ремонт монорельсовой дороги	301

Для дальнейшего расчёта уровни энергозатрат подземного персонала угольных шахт были разделены на категории, предложенные для оценки комфортности микроклимата в Методике проведения специальной оценки условий труда [55]:

1. Категория Ia - работы с интенсивностью энергозатрат до 120 ккал/ч (до 139 Вт), производимые в положении сидя;

2. Категория Ib - работы с интенсивностью энергозатрат 121-150 ккал/ч (140-174 Вт), производимые не только в положении сидя, но и в положении стоя, и (или) связанные с ходьбой;

3. Категории IIa - работы с интенсивностью энергозатрат 151-200 ккал/ч (175-232 Вт), связанные с ходьбой и перемещением мелких (до 1 кг) изделий или предметов в положении стоя и (или) сидя;

4. Категория IIб - работы с интенсивностью энергозатрат 201-250 ккал/ч (233-290 Вт), связанные с ходьбой и перемещением изделий или предметов до 10 кг в положении стоя и (или) сидя;

5. Категория III - работы с интенсивностью энергозатрат более 250 ккал/ч (более 290 Вт), связанные с постоянными передвижениями, а также перемещением и переноской значительных (свыше 10 кг) тяжестей.

Основная часть работ при подземной добыче угля относится ко IIa, IIб и III категории работ по уровню энергозатрат (рисунок 2.6).

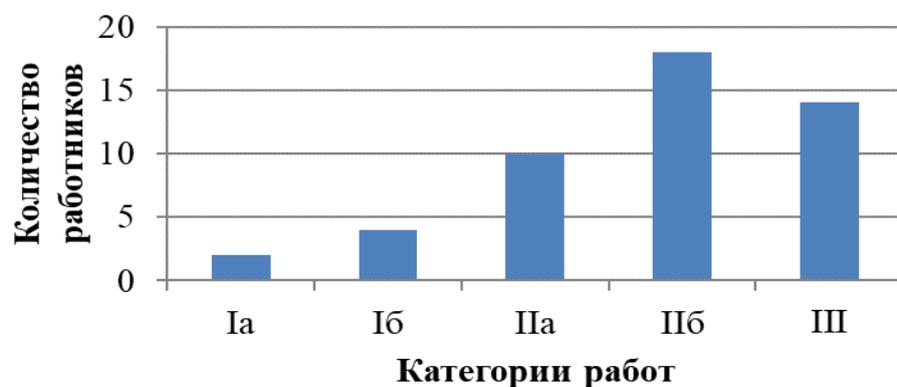


Рисунок 2.6 - Распределение подземного персонала угольной шахты по категориям работ по уровню энергозатрат

### 2.3 Определение показателей теплового комфорта работников

На основе проведенного анализа методов определения теплового состояния работников в п. 1.3, для определения теплового состояния подземного персонала угольной шахты, работающего в средствах индивидуальной защиты от общих производственных загрязнений, был выбран расчетный метод, предложенный П.О. Фангером и утвержденный ГОСТ Р ИСО 7730–2009 [19]. Основным критерием теплового комфорта в данном методе является показатель PMV (Predicted Mean Vote), который оценивается по шкале, приведенной в таблице 2.3. [19].

Таблица 2.3 Семибалльная шкала оценки теплового состояния работника

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

Показатель теплового комфорта PMV рассчитывается согласно формулам (2.6 -2.9).

$$PMV = [0,303 \exp(-0,036M) + 0,028 \cdot (M - W) - 3,05 \cdot 10^{-3} \cdot [5733 - 6,99 \cdot (M - W) - p_a] - 0,42 \cdot [(M - W) - 58,15] - 1,7 \cdot 10^{-5} \cdot M(5867 - p_a) - 0,0014 \cdot M(34t_a) - 3,96 \cdot 10^{-8} f_{cl} \cdot [(t_{cl} + 273)^4 (\bar{t}_r + 273)^4] \cdot f_{cl} h_c(t_{cl} - t_a)], \quad (2.6)$$

$$t_{cl} = 35,7 - 0,028(M - W) - I_{cl} - \{3,96 \cdot 10^{-8} f_{cl} [-(\bar{t}_r + 273)^4] + f_{cl} h_c(t_{cl} - t_a)\}, \quad (2.7)$$

$$h_c = \begin{cases} 2,38 |t_{cl} - t_a|^{0,25}, & \text{если } 2,38 |t_{cl} - t_a|^{0,25} > 12,1 \sqrt{v_{ar}}, \\ 12,1 \sqrt{v_{ar}}, & \text{если } 2,38 |t_{cl} - t_a|^{0,25} < 12,1 \sqrt{v_{ar}}, \end{cases} \quad (2.8)$$

$$f_{cl} = \begin{cases} 1,00 + 1,290I_{cl}, & \text{если } I_{cl} \leq 0,078 \text{ м}^2\text{К/Вт}, \\ 1,05 + 1,645I_{cl}, & \text{если } I_{cl} > 0,078 \text{ м}^2\text{К/Вт}, \end{cases} \quad (2.9)$$

где  $M$  - скорость обмена веществ, Вт/м<sup>2</sup>;  $W$  - эффективная механическая энергия, Вт/ м<sup>2</sup>;  $I_{cl}$ - коэффициент теплоизоляции одежды, м<sup>2</sup>·К/Вт;  $f_{cl}$ - коэффициент площади поверхности одежды;  $t_a$ - температура воздуха, °С;  $\bar{t}_r$ - средняя температура излучения, °С;  $v_{ar}$ - скорость движения воздуха, м/с;  $p_a$ - парциальное давление водяного пара, Па;  $h_c$ - коэффициент конвективного теплообмена, Вт/(м<sup>2</sup>·К);  $t_{cl}$ - температура поверхности одежды, °С.

Для прогнозирования теплоощущений работников угольных шахт, т. е. для расчетов значения индекса PMV были приняты следующие исходные данные, полученные на основе натуральных исследований, результатов специальной оценки условий труда, данных производственного контроля и данных испытания средств индивидуальной защиты от общих производственных загрязнений:

- средняя теплоизоляция средств индивидуальной защиты шахтера – 1,2 clo;
- средняя температура воздуха в выработках находится в диапазоне от 22 до 28°С в зависимости от участка ведения работ;
- подвижность воздуха в выработках составляет 0,2- 0,8 м/с;
- влажность воздуха колеблется в пределах 70 - 80%.

Расчёт показателя теплового комфорта PMV проводился при помощи компьютерной программы на языке программирования Python3 и полученный результат должен быть проверен на примерах, приведённых в ГОСТ Р ИСО 7730–2009. Тело расчётной программы представлено в приложении А. Основными преимуществами выбранного языка программирования является:

- высокая популярность языка, использование в различных видах исследований;
- сравнительно простой, но в то же время строгий синтаксис,

– наличие средств для работы с документами excel и базами данных.

На основе полученных данных была определена зависимость показателя теплового комфорта (PMV) работника от категории работ по уровню энергозатрат, представленная на рисунке 2.6.

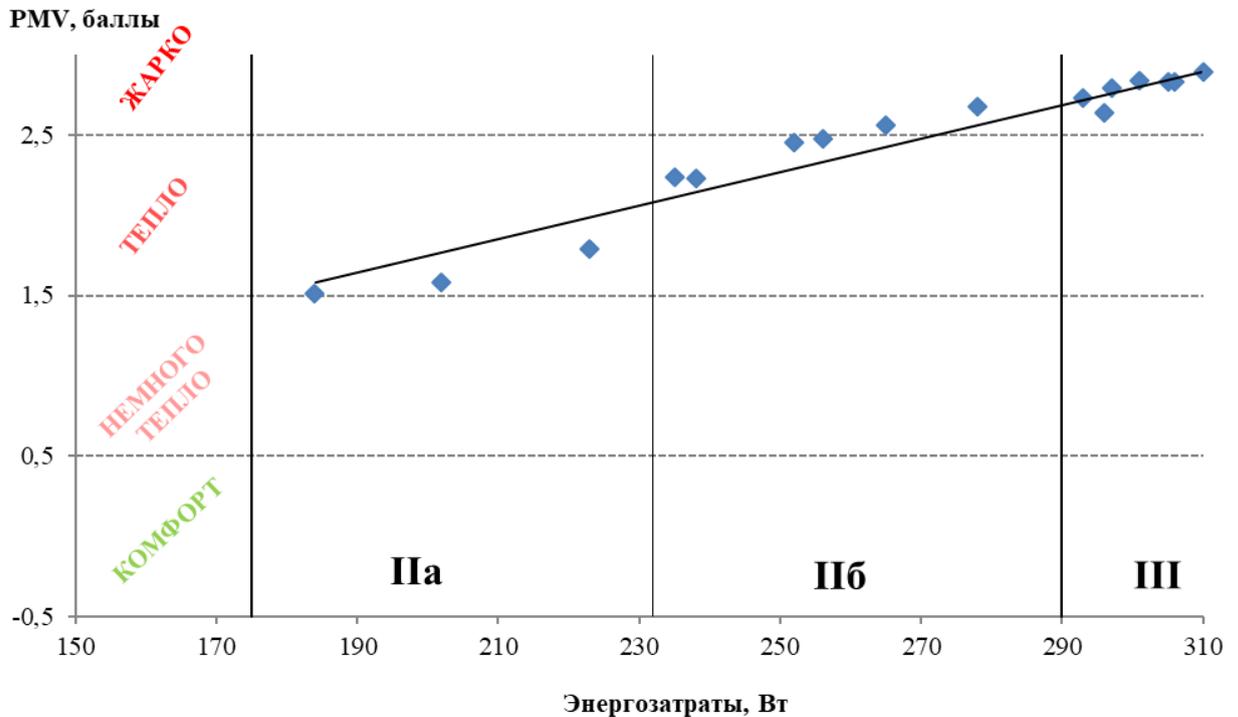


Рисунок 2.6 - Зависимость показателя теплового комфорта (PMV) работника от категории работ по уровню энергозатрат

Для практического использования полученного результата предлагается использовать линейную аппроксимацию вида:

$$PMV = 0,0126M - 0,9641 (R^2=0,92), \quad (2.10)$$

где  $M$  - энергозатраты работника, Вт/м<sup>2</sup>

Группа работников, работа которых относится к III категории работ по уровню энергозатрат (более 250 ккал/ч или более 290 Вт) испытывают сильный тепловой дискомфорт. Группа работников, относящиеся ко Пб (201 - 250 ккал/ч или 233 - 290 Вт) категории работ по уровню энергозатрат так же испытывает тепловой дискомфорт, оцениваемый от 2 до 3 баллов по семибалльной шкале, установленной ГОСТ Р ИСО 7730–2009. Для группы работников, относящиеся ко Па (151-200 ккал/ч или 175-232 Вт) категории работ по уровню энергозатрат при использовании аналогичных СИЗ в уровень теплового комфорта оценивается от

1,5 до 2 баллов при тех же условиях микроклимата.

Таким образом, в целях обеспечения теплового комфорта подземного персонала угольных шахт выбор средств индивидуальной защиты от общих производственных загрязнений следует проводить с учетом категории работ по уровню энергозатрат.

#### 2.4 Выбор средств индивидуальной защиты от общих производственных загрязнений для различных категорий работ по уровню энергозатрат

В целях определения параметров СИЗ при которых будет обеспечиваться тепловой комфорт работников при различных категориях труда по уровню энергозатрат был произведен расчет, основой которого были приняты исходные данные указанные в п. 2.3 и задано условие  $PMV = 0$ , и была определена зависимость теплового комфорта работников от коэффициента теплоизоляции СИЗ, при заданной категории труда по уровню энергозатрат, рисунок 2.7.

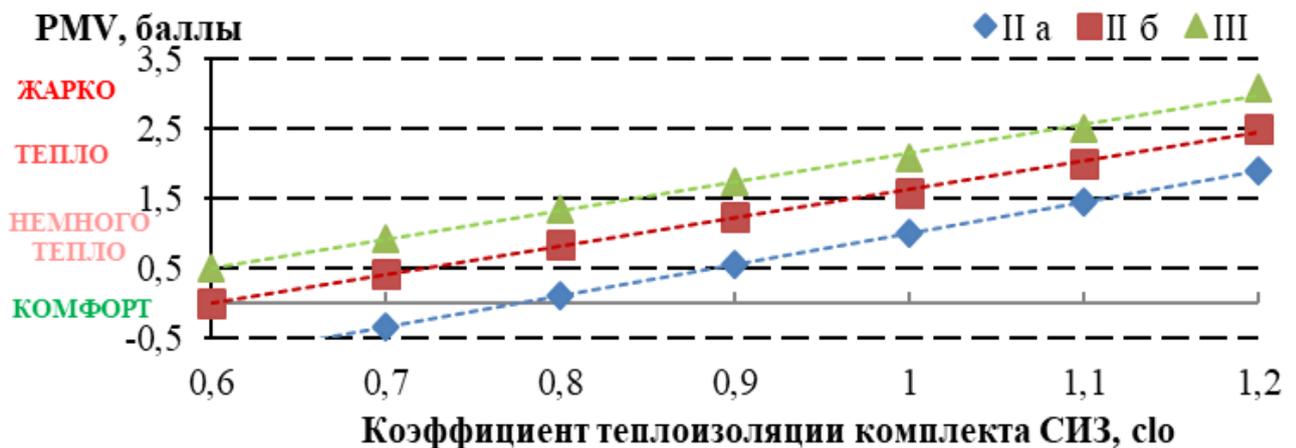


Рисунок 2.7 - Зависимость теплового комфорта работников от коэффициента теплоизоляции СИЗ

Таким образом, для обеспечения теплового комфорта работников III категории работ по уровню энергозатрат коэффициент теплоизоляции комплекта СИЗ должен составлять не более 0,6 clo, т.е. в два раза меньше, чем они используют сейчас (1,2 clo), для обеспечения теплового комфорта работников категории работ по уровню энергозатрат IIб необходимо выбирать комплект СИЗ коэффициент теплоизоляции которого не превышает 0,7 clo, для работников IIа

категории работ по уровню энергозатрат следует выбирать СИЗ с коэффициентом теплоизоляции до 1 clo.

## **2.5. Выводы по главе 2**

1. Выдача средств индивидуальной защиты от общих производственных загрязнений, обеспечивающих тепловой комфорт работников угольных шахт позволит снизить количество получаемых ими микротравм и уровень кожных заболеваний.

2. При оценке теплового комфорта подземного персонала угольных шахт помимо параметров микроклимата необходимо учитывать теплоизоляцию применяемых средств индивидуальной защиты от общих производственных загрязнений.

3. Показатель теплового комфорта PMV может применяться для того, чтобы проверить, удовлетворяют ли фактические условия микроклимата критериям комфорта с учетом теплоизоляции применяемых работниками средств индивидуальной защиты от общих производственных загрязнений.

4. Задавая показатель теплового комфорта равным нулю ( $PMV = 0$ ), можно использовать уравнение П.О. Фангера для прогнозирования сочетания уровня энергозатрат работника, применяемых им СИЗ и параметров микроклимата, которые обеспечивают комфортные (термонеутральные) тепловые ощущения работников.

5. Выбор средств индивидуальной защиты от общих производственных загрязнений необходимо проводить с учетом категории работ по уровню энергозатрат.

6. В условиях подземной добычи угля работники IIб и III категории труда по уровню энергозатрат испытывают тепловой дискомфорт, что приводит к напряжению аппарата терморегуляции, снижению внимания и производительности труда.

7. Для обеспечения теплового комфорта работников III категории труда по

энергозатратам необходимо обеспечить коэффициент теплоизоляции комплекта специальной одежды менее 0,6 clo путем разработки новой конструкции СИЗ и применения современных материалов.

### ГЛАВА 3 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛООВОГО СОСТОЯНИЕ ПОДЗЕМНОГО ПЕРСОНАЛА УГОЛЬНЫХ ШАХТ В ЗАГРЯЗНЕННЫХ УГОЛЬНОЙ ПЫЛЬЮ СРЕДСТВАХ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ

#### 3.1 Определение средней плотности загрязнения средств индивидуальной защиты подземного персонала угольных шахт

Для определения диапазона экспериментальной оценки влияния загрязнения угольной пыли на теплофизические свойства СИЗ была определена фактическая средняя плотность загрязнения средств индивидуальной защиты. Под средней плотностью загрязнения СИЗ принималось отношение массы угольной пыли, попадающей на СИЗ в течение смены, к площади его поверхности.

Масса угольной пыли, оседающая на СИЗ в течение смены, определялась весовым методом. На первом этапе были отобраны, находящиеся в эксплуатации, комплекты СИЗ, подземного персонала шахты основных профессий: проходчик, горнорабочий очистного забоя, машинист горно-выемочных машин, горнорабочий подземный, электрослесарь подземный и горный мастер. Комплект СИЗ состоял из куртки и брюк, без дополнительно пояса и нательного белья. Взвешивание проводилось на напольных поверенных весах в лаборатории качества угля (рисунок 3.1).



Рисунок 3.1 - Взвешивание СИЗ

После взвешивания комплекты СИЗ были выданы работникам, заступающим в добычную смену.

На втором этапе, после окончания смены, во избежание погрешности измерений загрязненные комплекты СИЗ были высушены в сушильном шкафу (шкаф температурный VENTICELL № D162223) при температуре 50°C в течение 60 минут, либо до момента установления постоянной массы образца, а затем взвешены. Всего участвовало в измерении 30 комплектов СИЗ, по три образца для каждой профессии на участке добычи угля и на участке проходческих работ. Идентификация комплектов происходила по индивидуальному номеру комплекта, указанному на спине куртки. Результаты взвешивания чистого и загрязненного комплекта средств индивидуальной защиты представлены в приложении В.

Площадь поверхности комплекта была определена из расчёта площади поверхности тела человека, без учёта открытых участков [37], и принималась равной 1,85 м<sup>2</sup>. На данном этапе исследований загрязнение принималось равномерным по всей площади средства индивидуальной защиты. Как видно из полученных результатов (рисунок 3.2), плотность загрязнения СИЗ угольной пылью работников различных профессий не одинакова, причём наибольшее загрязнение СИЗ работников характерно на участке добычи угля. В целом плотность загрязнения комплекта СИЗ подземного персонала угольной шахты за одну рабочую смену колеблется от 50 до 250 г/м<sup>2</sup>, именно этот диапазон был принят для проведения дальнейших исследований.

В рамках подготовки экспериментальных образцов материала для определения изменения его теплофизических свойств, при различных плотностях загрязнения угольной пылью, был разработан следующий алгоритм их загрязнения:

1. Подготовить необходимое количество образцов ткани одинакового размера.
2. Подготовить необходимое количество листов белой бумаги,

соответствующих по размеру испытываемым образцам ткани.

3. Взвесить каждый образец на лабораторных весах с точностью до 0,01 гр.
4. Необходимое количество угольной пыли дисперсностью от 0 до 80 мкм взвесить на лабораторных весах (+0,05-0,08 гр, с учетом потерь при загрязнении и в зависимости от размеров образца ткани).
5. При помощи лопатки, равномерно распределить пыль по листу белой бумаги.
6. Подготовленный образец ткани уложить лицевой стороной вниз на лист бумаги с угольной пылью и перевернуть вместе с листом.
7. При помощи стеклянного цилиндра весом 300 грамм, прокатать лист бумаги 10 раз.
8. Повторно перевернуть, отделить от бумаги и взвесить загрязненный образец ткани.
9. В случае если достигнута необходимая плотность загрязнения, следует начать измерения. Если необходимая плотность загрязнения не достигнута, повторить пункты 4-7, при необходимости добавляя угольную пыль.

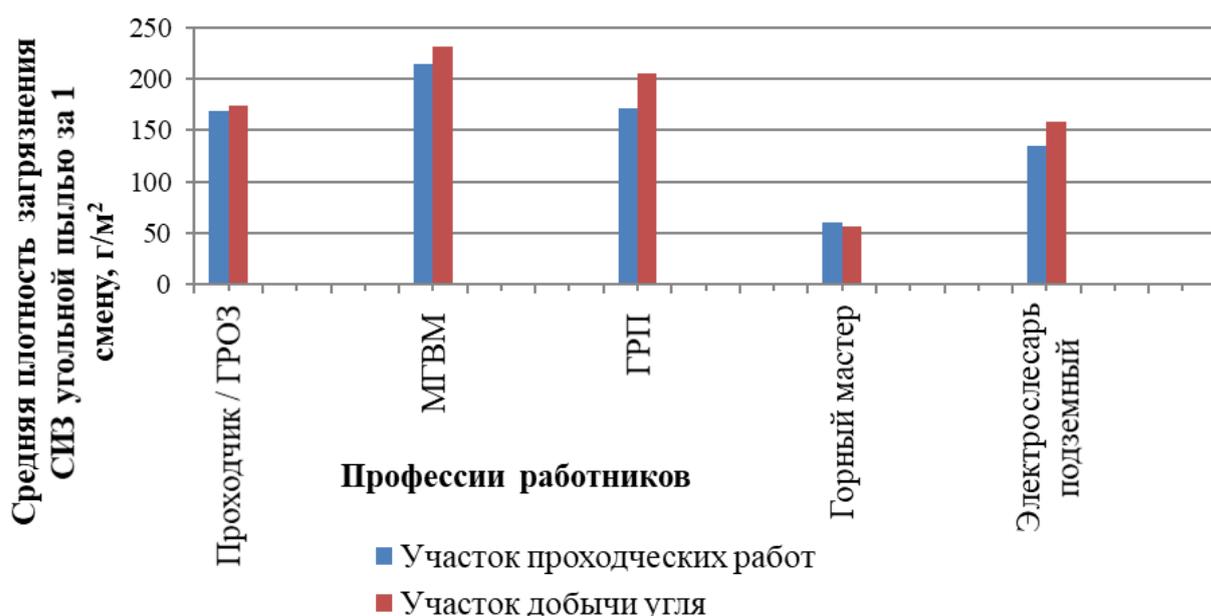


Рисунок 3.2 - Средняя плотность загрязнения СИЗ подземного персонала угольной шахты за одну смену для различных профессий

Согласно представленному алгоритму были подготовлены образцы из ткани ГОРИЗОНТ Т40, краткая характеристика которой представлена в таблице 3.1.

Таблица 3.1 - Характеристика ткани ГОРИЗОНТ Т40

Поверхностная плотность, г/м <sup>2</sup>	370
Состав	75% хлопок, 25% полиэфир
Класс пыленепроницаемости	IV

Ткань «Горизонт Т40» - основная ткань, которая используется для изготовления шахтерских костюмов в России, соответствует ГОСТ 12.4.299-2017 «Костюмы шахтерские для защиты от механических воздействий и общих производственных загрязнений» [21].

### **3.2 Экспериментальная оценка влияния загрязнения средств индивидуальной защиты работника угольной пылью на коэффициент теплопроводности материала**

Основная часть методов определения коэффициента теплопроводности для заключается в его экспериментальном определении с использованием различных приборов и оборудования. Известен ряд методов экспериментального определения коэффициента теплопроводности [5, 29, 31, 42, 43, 54, 56].

Основная часть из них основана на измерении теплового потока и градиента температур в материале. Для исследования используют две группы методов: стационарные и нестационарные. Стационарные методы, основанные на исследовании неизменных во времени температурных полей [29, 54]. Основным недостатком стационарных методов является то, что испытываемые материалы полностью отделены от окружающей воздушной среды и получаемые значения коэффициента теплопроводности характеризуют всего лишь тепловой процесс, протекающий внутри самого слоя независимо от теплоотдачи его поверхности.

Нестационарные методы основаны на исследовании меняющихся во времени по определенному закону температурных полей. Они более сложны в реализации. Основная трудность состоит в том, что в эксперименте сложно

реализовать условия, заложенные в теории метода. Некоторые из нестационарных методов рассмотрены в [5, 42, 43].

Для целей данного исследования необходимо определение теплофизических характеристик материалов загрязнённых угольной пылью, поэтому наиболее подходящими для определения коэффициента теплопроводности материала являются нестационарные методы регулярного теплового режима. Указанные методы основаны на свободном охлаждении нагретого тела. При которых тепловая энергия системы, рассеиваясь в окружающей среде, проходит внутрь системы тем путем, который избирает она сама. Испытание образца сводится к фиксированию изменений температуры системы во времени и вычислению искомых тепловых величин по общим законам теплопередачи.

Для определения теплофизических характеристик образцов была применена методика [5].

Исследования проводились в лаборатории контроля качества компании «Ковчег Лаборатория высокоэффективного дома», г. Челябинск.

Эксперимент проводился в три основных этапа:

1. Подготовка образцов материала и необходимого оборудования.
2. Определение температурных полей на поверхности исследуемых образцов материала при охлаждении;
3. Расчет коэффициента теплопроводности образцов. Лабораторная установка представлена на рисунке 3.3.

Условия проведения эксперимента:

- излучательная способность эталонного объекта (степень черноты) – 0,95;
- температура окружающей среды – 25°C;
- расстояние между объектом и тепловизором – 30 см;
- относительная влажность воздуха – 27%.

Характеристика инфракрасной камеры FLIR E60 [75]:

- диапазон измерения температуры от  $-20^{\circ}\text{C}$  до  $650^{\circ}\text{C}$ ;
- детектор - неохлаждаемая микроболометрическая матрица  $320 \times 240$  элементов;
- порог температурной чувствительности менее  $0,05^{\circ}\text{C}$  при  $30^{\circ}\text{C}$ ;
- погрешность измерения температуры  $\pm 2^{\circ}\text{C}$ ;
- спектральный диапазон  $7,5\text{-}13\text{ мкм}$ ;
- частота развертки изображения  $60\text{ Гц}$  ( $9\text{ кадров/с}$ ).

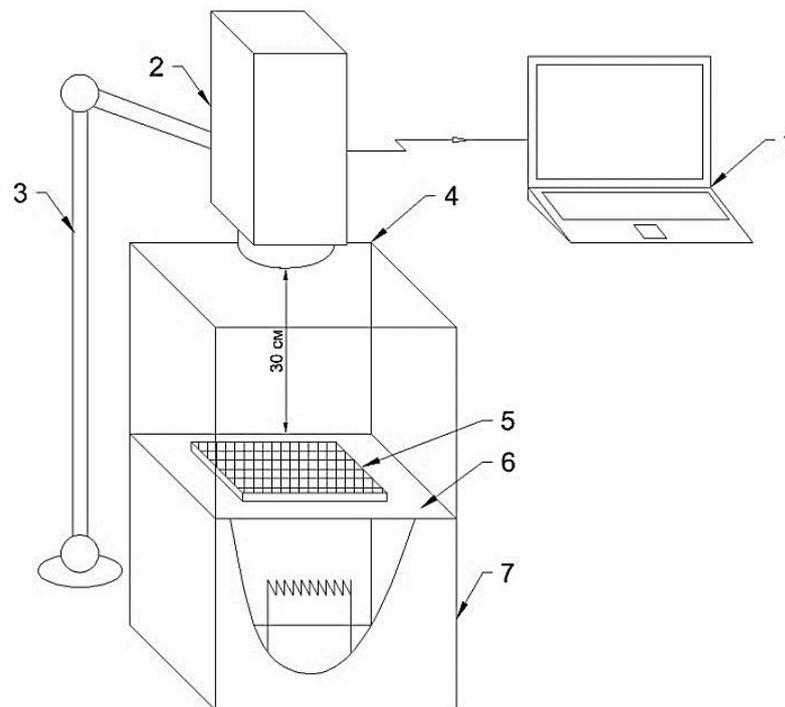


Рисунок 3.3 - Тепловизионная система для определения теплофизических свойств ткани:  
 1 – ноутбук для обработки данных 2 – инфракрасная камера FLIR E60; 3 – штатив для инфракрасной камеры; 4 – защитный экран; 5 – образец ткани; 6 – нагревающая поверхность; 7 – теплоизолированный шкаф.

Проведение измерений проводилось следующим образом:

1. Нагрев образца ткани на металлической пластинке до фиксированной температуры  $t=100^{\circ}\text{C}$  (меньшей температуры деформации волокон).
2. При достижении равномерного температурного поля на поверхности

образца отключение питания электронагревателя (контроль равномерности прогрева исследуемого образца при помощи инфракрасной камеры FLIR E60).

3. Запись термографических снимков процесса охлаждения образца с частотой 1 кадр в секунду.

4. Замена образца чистой ткани на образец, загрязненный угольной пылью и повторение комплекса измерений повторно.

В результате проведения эксперимента были получены термографические снимки процесса охлаждения образцов. Их обработка велась при помощи программы FLIRTools. Для построения термограмм охлаждения были приняты средние значения по всей площади образца ткани, тем самым минимизированы погрешности, связанные с возможной неравномерностью загрязнения образцов (рисунок 3.4).

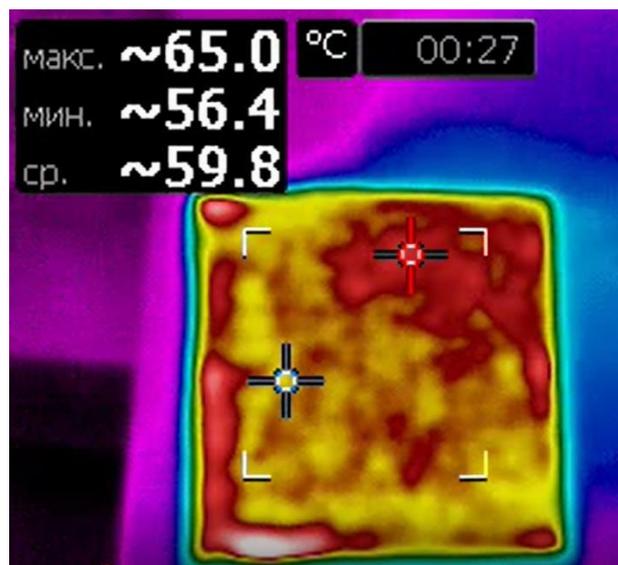


Рисунок 3.4 - Обработка термограмм процесса охлаждения образцов в программе FLIR Tools

После получения термограмм процесса охлаждения образцов производился расчет коэффициента теплопроводности каждого образца. На первом этапе были определены коэффициенты отражения поверхности для каждого образца, поскольку степень отражения менялась в зависимости от степени загрязнения ткани угольной пылью. По полученным результатам для каждого образца был построен полулогарифмический график охлаждения, прямолинейный участок кривой соответствует регулярному режиму. На этой прямой отмечали шесть точек

с соответствующими координатами.

Далее по формуле (3.1) был определен темп охлаждения каждого из пяти выбранных участков и по формуле (3.2) найдено среднее значение темпа охлаждения для всего образца.

$$m_n = \frac{\ln v_n - \ln v_{n+1}}{\tau_{n+1} - \tau_n}, \quad (3.1)$$

где  $v_1$  – разность между температурой в данной точке и во внешней среде в момент времени  $\tau_1$ ;  $v_2$  – разность между температурой в данной точке и во внешней среде в момент времени  $\tau_2$ .

$$m_{\text{ср}} = \frac{m_1 + m_2 + m_3 + m_4 + m_5}{5}, \text{ с}^{-1} \quad (3.2)$$

Образец ткани условно принимает форму параллелепипеда с ребрами  $L_1$ ,  $L_2$ ,  $L_3$ , поэтому коэффициент формы ткани определялся по формуле (3.3):

$$K = \frac{1}{\pi^2 \left( \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_3} \right)}, \quad (3.3)$$

где  $L_1$  – ширина образца, мм;  $L_2$  – длина образца, мм;  $L_3$  – высота образца (толщина ткани), мм.

Коэффициент теплопроводности определялся по формуле (3.4),  $\text{м}^2/\text{с}$ :

$$a = \frac{K - m_{\text{ср}}}{10^6} \quad (3.4)$$

Объемная плотность образцов определялась по формуле (3.5),  $\text{кг}/\text{м}^3$ :

$$\gamma = \frac{M}{L_3} \quad (3.5)$$

где  $M$  – поверхностная плотность образца,  $\text{г}/\text{м}^2$ .

При сильном загрязнении образцов угольной пылью увеличивалась их толщина и поверхностная плотность, что было учтено в расчёте.

Коэффициент теплопроводности ткани определялся по формуле (3.6),  $\text{Вт}/\text{м}^\circ\text{С}$ :

$$\lambda = a * c * \gamma \quad (3.6)$$

где  $c$  – удельная теплоемкость ткани,  $\text{кДж}/\text{кг} \cdot \text{град}$ .

Удельная теплоемкость материала ГОРИЗОНТ Т40 была рассчитана как теплопроводность равномерной смеси веществ, с учётом

загрязнения материала угольной пылью. Для ткани «Горизонт Т40» (75% хлопок, 25% полиэфир),  $c = 1.35$  кДж/кг·град [26].

Для каждого образца с различной средней плотностью загрязнения был рассчитан коэффициент теплопроводности, результаты представлены на рисунке 3.5.

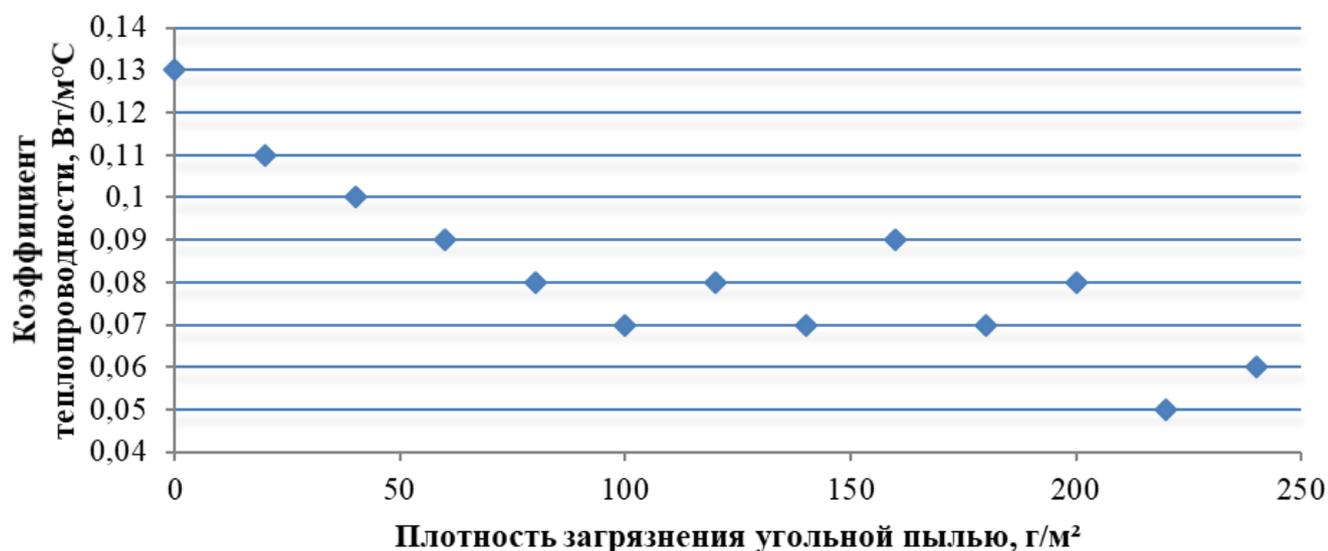


Рисунок 3.5 - Результаты экспериментального определения коэффициента теплопроводности материала, используемого для изготовления СИЗ, от плотности загрязнения угольной пылью

Анализ полученных результатов показал, что коэффициент теплопроводности снижается при увеличении плотности загрязнения материала угольной пылью. При плотности загрязнения  $100 \text{ г/м}^2$ , коэффициент теплопроводности снижается практически вдвое и достигает значения  $0,07 \text{ Вт/м}^\circ\text{С}$ . При дальнейшем увеличении плотности загрязнения коэффициент теплопроводности так же снижается, но менее значительно и при загрязнении  $250 \text{ г/м}^2$  достигает значения  $0,05 \text{ Вт/м}^\circ\text{С}$ .

Перенос теплоты осуществляется благодаря теплопроводности волокон и воздуха, конвекции через сквозные поры, теплоизлучения стенками пор. Поэтому полученные значения коэффициента теплопроводности характеризует способность материала передавать тепловую энергию не только вследствие теплопроводности, но и путем конвекции и теплоизлучения [98].

Полученные результаты обусловлены тем, что материал используемый для

изготовления средств индивидуальной защиты от общих производственных загрязнений имеет высокую плотность ( $370 \text{ г/м}^2$ ) плотность и представляет собой систему из большого количества волокон, отделенных друг от друга порами различной формы и размеров, заполненных воздухом. При загрязнении средства индивидуальной защиты коэффициент теплопроводности снижается. Таким образом, загрязнение средства индивидуальной защиты угольной пылью замедляет потери тепла работником, препятствует нормальному испарению влаги с поверхности кожи, что приводит к нарушению теплового комфорта и полному или частичному неприменению шахтерского костюма при выполнении работ.

### **3.3 Экспериментальная оценка влияния загрязнения средств индивидуальной защиты работника угольной пылью на воздухопроницаемость материала**

Одним из способов отдачи тепла от тела человека при интенсивной физической нагрузке является конвекция, поэтому значение воздухопроницаемости материала является одним из важнейших свойств при изготовлении специальной одежды для подземного персонала угольных шахт.

Помимо физико-гигиенических свойств, специальная одежда должна выполнять защитные функции, защищать работников от общих производственных загрязнений, особенно угольной пыли. Соответственно помимо высокого уровня воздухопроницаемости обладать низкой пылепроницаемостью [72].

Понятие коэффициента воздухопроницаемости было введено в работах Н.А. Архангельского [2]. В работах других авторов было уделено значительное внимание изучению влияния различных факторов на воздухопроницаемость тканей. Изучение влияния плотности ткани на ее воздухопроницаемость [41], характера распределения волокон в материале [70], вида переплетения ткани [48], геометрических характеристик волокон [44], температурного воздействия и, степени изнашивания тканей [89]. Однако исследования изменения воздухопроницаемости материалов для изготовления СИЗ при их загрязнении

угольной пылью не проводились. Измерение воздухопроницаемости ткани производят в стандартных условиях, которые существенно отличаются от реальных эксплуатационных, что может приводить к результатам, не соответствующим проявлению этих свойств в реальных условиях.

В рамках подготовки к проведению эксперимента были проведены следующие действия:

– в соответствии с ГОСТ 20566-75 «Ткани и штучные изделия текстильные. Правила приемки и метод отбора проб» произведен отбор 5 образцов ткани «FAS» и 6 образцов ткани Горизонт Т40;

– загрязнение образцов ткани угольной пылью происходило по следующему алгоритму, приведенному в п. 3.1;

– подготовлено 5 вариантов образцов ткани ГОРИЗОНТ Т40 с плотностью загрязнения 50, 100, 150, 200 и 250 г/м<sup>2</sup>.

Исследования воздухопроницаемости проводились в испытательной лаборатории «Универс – Тест» Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна по ГОСТ 12088-77 ГОСТ 12088-77 «Textile materials and articles of them. Method of determination of air permeability» [17] на приборе FF-12 (рисунок 3.6).

Прибор FF-12 предназначен для измерения воздухопроницаемости тканей, разряжение под точечной пробой составляет 49 Па.

Для испытания применялся сменный столик 10 с отверстием площадью 10 см<sup>2</sup>. Испытание проводилось при разрежении под точечной пробой равной 49 Па. Ротаметр выбирался в зависимости от значения воздухопроницаемости ткани. Количество испытаний – 10.

За результат испытания было принято среднее значение воздухопроницаемости из всех измерений каждой точечной пробы.



Рисунок 3.6 - Прибор FF-12 для измерения воздухопроницаемости с загрязненным образцом

Принципиальная схема работы прибора представлена на рисунке 3.7.

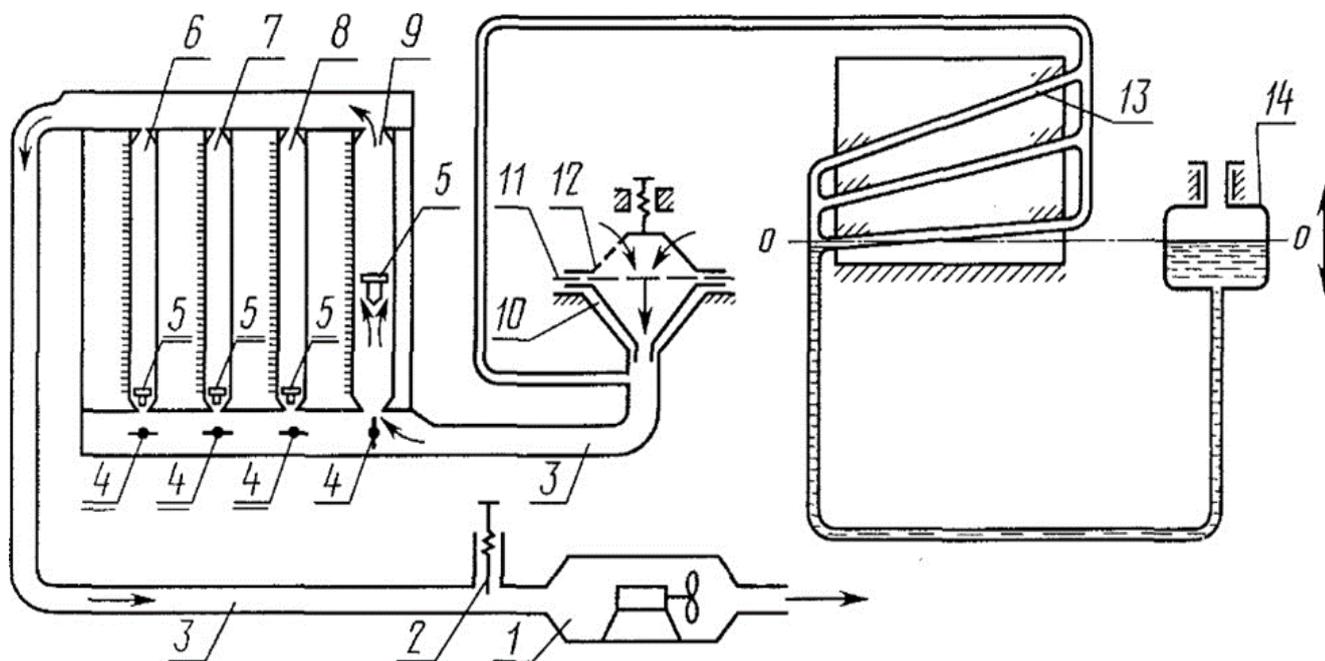


Рисунок 3.7 - Устройство прибора: 1 – электроventильатор, 2 – игольчатый клапан, 3 – соединительные трубы, 4 – рукоятки ротаметров, 5 – поплавки ротаметра, 6, 7, 8, 9 – ротаметры, 10 – сменный столик, 11 – используемая ткань, 12 – прижимное кольцо, 13 – микроманометр, 14 – сосуд с дистиллированной водой [17]

Показатели среднего значения воздухопроницаемости ткани  $Q$  в  $\text{дм}^3/\text{м}^2\text{с}$  каждой точечной пробы вычисляют по формуле (3.7).

$$Q = \frac{61 \cdot 100 \cdot V}{36 \cdot S}, \quad (3.7)$$

где  $V$  — среднее арифметическое значение расхода воздуха из всех измерений точечной пробы (показания ротаметра),  $\text{дм}^3/\text{ч}$ ;  $S$  — испытываемая площадь,  $\text{см}^2$ .

Результат подсчитывался с погрешностью до  $0,1 \text{ дм}^3/\text{м}^2 \text{ с}$ .

Полученные результаты испытания ткани ГОРИЗОНТ Т40 с различной плотностью загрязнения угольной пылью представлены на рисунке 3.8

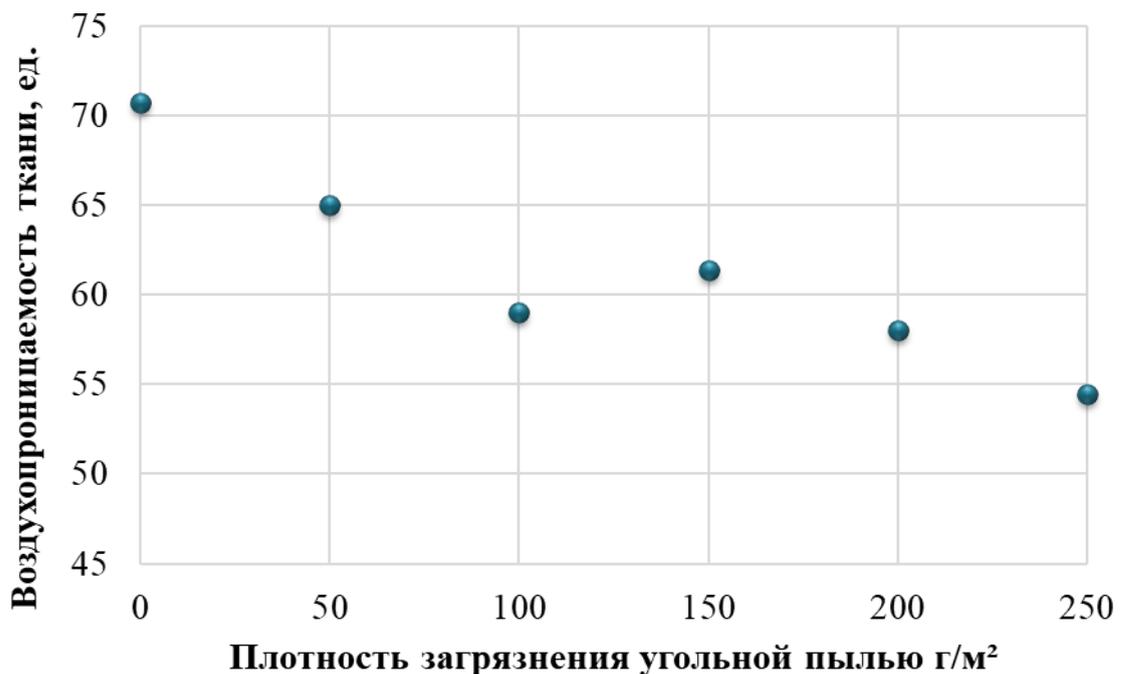


Рисунок 3.8 - Результаты экспериментального определения воздухопроницаемости материала, используемого для изготовления СИЗ, от плотности загрязнения угольной пылью

Полученные результаты говорят о снижении воздухопроницаемости материала при загрязнении образцов угольной пылью. Это обусловлено тем, что на показатели воздухопроницаемости влияет пористость материала, т.е. на число пор в его структуре, и их размеры. При незначительном загрязнении сокращаются размеры пор, при более существенном уже уменьшается их количество.

Кроме того, при прохождении воздуха через поры ткани часть энергии затрачивается на трение воздуха о ткань, которое снижается при ее незначительном загрязнении угольной пылью, которая делает волокна более обтекаемыми. При большей плотности загрязнения повышается

аэродинамическое сопротивление ткани и соответственно снижается ее воздухопроницаемость [100].

Таким образом, загрязнение шахтерского костюма угольной пылью замедляет потери тепла работником, препятствует нормальному испарению влаги с поверхности кожи, что приводит к нарушению теплового комфорта и полному или частичному неприменению шахтерского костюма при выполнении работ.

### **3.4 Определение теплового сопротивления комплекта средств индивидуальной защиты при его загрязнении угольной пылью**

Процессы жизнедеятельности человека сопровождаются непрерывным теплообразованием и отдачей тепла, образующегося в организме человека, в окружающую среду [45]. Во время выполнения работ тепло, образуемое человеком, передается в окружающую среду через комплект средств индивидуальной защиты (нательное белье, шахтёрский костюм), а также часть тепла от незакрытых частей тела (голова, часть шеи, ладони) передается непосредственно в окружающую среду [9]. Интенсивность рассеивания тепла через комплект СИЗ непосредственно связано с коэффициентом его теплоизоляции, который может изменяться при загрязнении СИЗ угольной пылью [101].

Для определения влияния загрязнения угольной пылью на коэффициент теплоизоляции комплекта СИЗ была предложена схема комплекта СИЗ. Комплект СИЗ не может быть представлен в виде простого однослойного изделия, он представляет собой «пакет материалов», образованный из нательного белья и средства индивидуальной защиты, с учетом воздушных прослоек между телом человека и нательным бельём, а также между средством индивидуальной защиты и нательным бельём (рисунок 3.7). Краткая характеристика материалов, входящих в комплект СИЗ представлена в таблице 3.2.

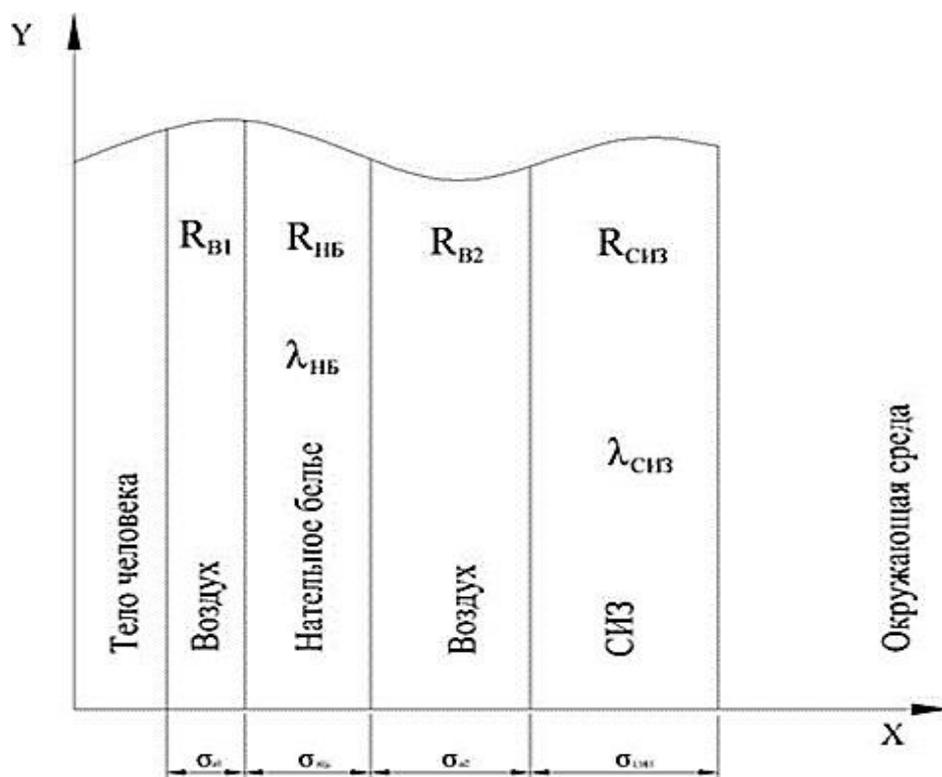


Рисунок 3.7 - Схема комплекта средств индивидуальной защиты подземного горнорабочего

Таблица 3.2 – Параметры материалов, входящих в комплект средства индивидуальной защиты

Наименование слоя	Состав	Толщина, мм	Коэффициент теплопроводности, Вт/м·°С
Нательное бельё	Хлопок 100%	0,75	0,05
Средство индивидуальной защиты	Хлопок 75%, Полиэфир 25%	2,01	0,11

В рамках данной работы принят стационарный режим теплообмена, ввиду отсутствия в условиях микроклимата угольной шахты солнечного излучения, существенных перепадов температур, осадков и высоких скоростей движения воздуха.

В структуре комплекта СИЗ передача тепла осуществляется теплопроводностью через волокна, составляющие материал и, также теплопроводностью через воздушные микропрослойки в структуре материала и между слоями. С поверхности средства индивидуальной защиты тепло рассеивается в окружающую среду конвекцией.

Причём, коэффициент теплопроводности  $\lambda$  рассматривается как величина, учитывающая структурную неоднородность волокнистого слоя, и совместный радиационно-кондуктивный теплоперенос в нем [43].

В этой связи, математически суммарный процесс теплопередачи в материалах происходит по закону Фурье, но под  $\lambda$  принимается коэффициент, который численно характеризует свойство материалов передавать тепловую энергию всеми указанными способами [57].

П.А.Колесников [38], и Г.М. Кондратьев [40], указывают, что количество тепловой энергии, передающейся любым из этих способов, приблизительно пропорционально разности температур двух прилежащих изотермических поверхностей (если поры только не чрезмерно велики).

П.А. Колесников [39], Г.Н. Кукин, А.Н. Соловьев, А.И. Кобляков [45], Р.А. Дель и др. [24] считают, что при оценке теплозащитных комплектов средств индивидуальной защиты от общих производственных загрязнений более важной величиной следует считать не коэффициент теплопроводности -  $\lambda$ , а обратную ему величину - тепловое сопротивление –  $R$ .

Суммарное тепловое сопротивление ( $R_{\text{сумм}}$ ,  $\text{м}^2\text{°C/Вт}$ ) комплекта СИЗ, рассчитывалось по формуле [97]:

$$R_{\text{сумм}} = R_{\text{н.б.}} + R_{\text{СИЗ}} + R_{\text{В1}} + R_{\text{В2}} + R_{\text{ПОВ}} \quad (3.8)$$

где  $R_{\text{н.б.}}$  – тепловое сопротивление нательного белья,  $\text{м}^2\text{°C/Вт}$ ;  $R_{\text{СИЗ}}$  – тепловое сопротивление средства индивидуальной защиты,  $\text{м}^2\text{°C/Вт}$ ,  $R_{\text{В1}}$  – тепловое сопротивление воздушной прослойки между телом человека и нательным бельём,  $\text{м}^2\text{°C/Вт}$ ;  $R_{\text{В2}}$  – тепловое сопротивление воздушной прослойки между нательным бельём и СИЗ,  $\text{м}^2\text{°C/Вт}$ ;  $R_{\text{нов}}$  – сопротивление теплоотдачи с поверхности СИЗ в окружающую среду,  $\text{м}^2\text{°C/Вт}$ .

Для простого одинарного слоя тепловое сопротивление –  $R_m$  определяется

из уравнения [53]:

$$R_m = \frac{\delta}{\lambda}, \quad (3.9)$$

где  $\delta$  - толщина материала, м;  $\lambda$  - коэффициент теплопроводности, Вт/м·°С

Передача тепла в воздушных прослойках происходит теплопроводностью, конвекцией и излучением. Однако в схеме комплекта СИЗ толщина прослоек незначительна и основным видом передачи тепла является теплопроводность [53].

Зная коэффициент теплопроводности воздуха в прослойке –  $\lambda_v$ , его тепловое сопротивление  $R_v$  можно определить по формуле:

$$R_v = \frac{\delta_v}{\lambda_v} \quad (3.10)$$

где  $\delta_v$  – толщина воздушной прослойки, м.

Величина теплового сопротивления поверхности средства индивидуально защиты  $R_{пов}$  определяется как обратная величине коэффициента теплоотдачи –  $\alpha$  ( $\text{м}^2 \cdot \frac{\text{С}}{\text{Вт}}$ ):

$$R_{пов} = \frac{1}{\alpha} \quad (3.11)$$

Исходя из этого уравнение (3.8) принимает вид:

$$R_{сумм} = \frac{\delta_{н.б.}}{\lambda_{н.б.}} + \frac{\delta_{СИЗ}}{\lambda_{СИЗ}} + \frac{\delta_{в1}}{\lambda_v} + \frac{\delta_{в2}}{\lambda_v} + \frac{1}{\alpha}, \quad (3.12)$$

где  $\delta_{в1}$  - толщина воздушной прослойки между телом человека и нательным бельём, м;  $\delta_{в2}$  - толщина воздушной прослойки между нательным бельём и СИЗ, м;  $\lambda_v$  - коэффициент теплопроводности воздуха, Вт/м·°С;  $\alpha$  - коэффициент теплоотдачи, Вт/(м<sup>2</sup>·°С).

Для численного решения уравнения (3.12) был осуществлен переход от коэффициента теплоизоляции ( $I_{cl}$ ) к тепловому сопротивлению согласно следующему соотношению:

$$R = 0,155 I_{cl}, \text{ м}^2 \cdot \text{°С/Вт} \quad (3.13)$$

Согласно результатам испытания выбранного комплекта, СИЗ его

коэффициент теплоизоляции составляет 1,2 сло, что соответствует суммарному тепловому сопротивлению комплекта СИЗ  $0,186 \text{ м}^2\text{°C/Вт}$  [63].

Для определения толщины материалов, входящих в комплект СИЗ, использовалась формула К.Г. Гущиной [23],

$$\delta = 4,957 \cdot 10^{-3} \cdot G + 0,06, \quad (3.14)$$

где  $G$  – поверхностная плотность материала,  $\text{г/м}^2$ .

Коэффициент теплоотдачи  $\alpha$  был определён исходя из критериальных уравнений М.А. Михеева для свободной конвекции около вертикальных пластин при ламинарном течении воздуха [51].

В связи со сложной геометрической формой и различной толщиной воздушных прослоек между слоями комплекта СИЗ их общее тепловое сопротивление  $R_v$  возможно определить исходя из уравнения 3.12, подставив значение суммарного теплового сопротивления из соотношения 3.13.

Полученное тепловое сопротивление воздушных прослоек составляет  $0,046 \text{ м}^2\text{°C/Вт}$ , и будет использовано при расчете теплового сопротивления загрязненного СИЗ.

Так же было учтено, что на теплоизоляционные свойства оказывает влияние воздухопроницаемость материалов СИЗ от общих производственных загрязнений по формуле (3.15) [93].

$$C = (0,075B + 2) U + 5, \quad (3.15)$$

где  $C$  - снижение средневзвешенного термического сопротивления одежды, %,  $B$  - воздухопроницаемость СИЗ  $\text{дм}^3/(\text{м/с})$ ,  $U$  - скорость движения воздуха  $\text{м/с}$ .

В п. 3.2 и 3.3 настоящей работы экспериментально было установлено, что при загрязнении средств индивидуальной защиты угольной пылью происходит изменение их теплофизических свойств. Для определения изменения теплового сопротивления средств индивидуальной защиты в уравнение (3.12) подставили значения коэффициентов теплопроводности загрязненного материала полученные

в п. 3.2.

После определения теплового сопротивления загрязненного средства индивидуальной защиты, по формуле 3.15 был определен процент увеличения теплового сопротивления учитывающий изменение воздухопроницаемости материала при загрязнении и рассчитано итоговое суммарное тепловое сопротивление комплекта СИЗ при различных плотностях среднего загрязнения СИЗ.

При загрязнении средств индивидуальной защиты угольной пылью происходит увеличение суммарного теплового сопротивления комплекта СИЗ, что может приводить к изменению теплового состояния работника.

В процессе выполнении работ с высоким уровнем энергозатрат происходит большое выделение тепла организмом человека, поэтому при выборе материалов для изготовления СИЗ предпочтение следует отдавать материалам, имеющим большую теплопроводность.

### **3.5 Определение показателей теплового комфорта работников в загрязнённых угольной пылью средствах индивидуальной защиты**

При загрязнении средств индивидуальной защиты изменяются их теплофизические свойства, в частности увеличивается их коэффициент теплоизоляции, что может приводить к нарушению теплового комфорта работника. Для определения теплового состояния горнорабочих в загрязненных средствах индивидуальной защиты был так же показатель PMV, результаты приведены на рисунке 3.8.

Таким образом получена зависимость показателя теплового комфорта подземного персонала угольных шахт от плотности загрязнения применяемых ими средств индивидуальной защиты угольной пылью, которая имеет вид:

– для категории работ Па:

$$PMV=0,002П+2,48 (R^2=0,99), \quad (3.16)$$

– для категории работ Пб:

$$PMV=0,0021\Pi+1,81 (R^2=0,99), \quad (3.17)$$

– для категории работ Ш:

$$PMV=0,002\Pi+2,83 (R^2=0,98), \quad (3.18)$$

где  $\Pi$  – средняя плотность загрязнения СИЗ угольной пылью,  $г/м^2$ .

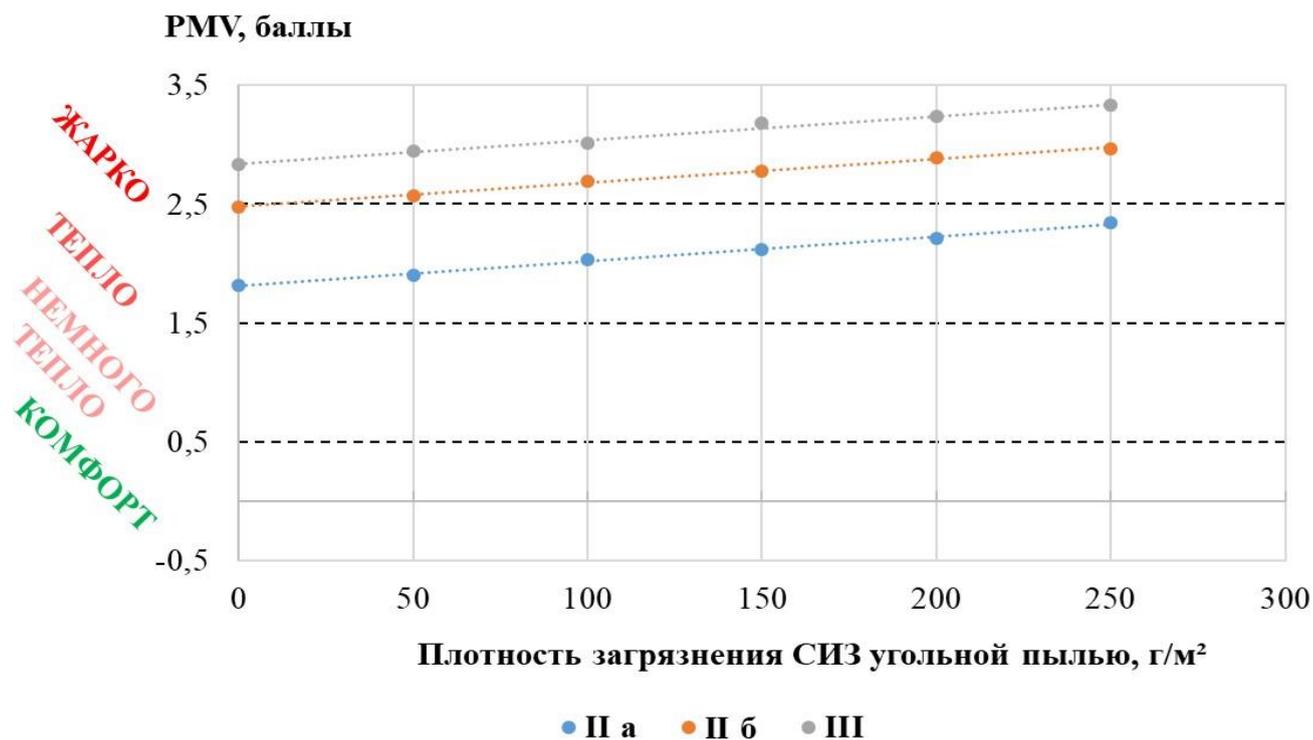


Рисунок 3.8 - Зависимость показателя теплового комфорта (PMV) работника от плотности загрязнения СИЗ угольной пылью

При загрязнении СИЗ угольной пылью увеличивается их коэффициент теплоизоляции, что приводит к изменению теплового состояния работников и увеличивает значение показателя PMV на 20-25% в сторону теплоощущения «жарко». Из этого следует что, тепловое состояние работников угольных шахт следует оценивать с учётом изменения теплофизических параметров средств индивидуальной защиты при их загрязнении угольной пылью.

### 3.6 Выводы по главе 3

1. Загрязнение средств индивидуальной защиты подземного персонала угольной пылью приводит к изменению теплового состояния работников и

увеличивает значение показателя PMV на 20-25% в сторону теплоощущения «жарко».

2. При испытании средств индивидуальной защиты от общих производственных загрязнений необходимо учитывать их загрязнение в процессе эксплуатации.

3. Загрязнение средства индивидуальной защиты угольной пылью замедляет потери тепла работником, препятствует нормальному испарению влаги с поверхности кожи, что приводит к нарушению теплового комфорта и полному или частичному неприменению шахтерского костюма при выполнении работ.

## ГЛАВА 4 КОНСТРУИРОВАНИЕ СРЕДСТВА ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ ДЛЯ РАБОТНИКОВ III КАТЕГОРИИ РАБОТ ПО УРОВНЮ ЭНЕРГОЗАТРАТ НА ОСНОВЕ ТОПОЛОГИИ ИХ ЗАГРЯЗНЕНИЯ УГОЛЬНОЙ ПЫЛЬЮ

### 4.1 Экспериментальная оценка топологии загрязнения СИЗ угольной пылью для основных профессий горнорабочих и участков выполнения работ

На основе результатов определения зависимости теплового комфорта работников от коэффициента теплоизоляции комплекта СИЗ (п.2.4), для обеспечения теплового комфорта работников III категории работ по уровню энергозатрат коэффициент теплоизоляции комплекта СИЗ должен составлять не более 0,6 clo. В настоящее время, для защиты от общих производственных загрязнений основной частью подземного персонала угольной шахты применяется СИЗ в виде шахтёрского костюма, состоящее из куртки, и брюк и изготовленного из ткани ГОРИЗОНТ Т-40, характеристики которой приведены в пункте 3.1 (рисунок 4.1).

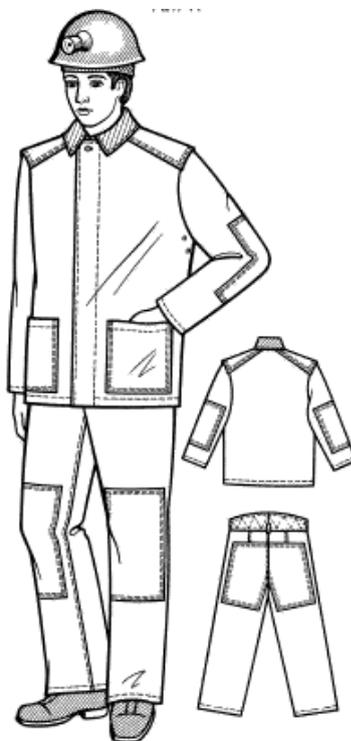


Рисунок 4.1 - Конструкция применяемых работниками угольной шахты средств индивидуальной защиты согласно ГОСТ 12.4.110-82

Для обеспечения необходимого уровня защитных свойств и пылепроницаемости, применяется ткань высокой плотности, а также усилительные накладки в области: локтя рукавов куртки; колена на передних половинках брюк; сидения на задних половинках брюк. Кроме того, весь костюм выполнен из одного материала, и ввиду большого количества пыли, и необходимости защиты от общих производственных загрязнений, невозможно включить в конструкцию различного вида вентиляционные отверстия. В связи с этим на основе применяемого СИЗ невозможно обеспечить указанный коэффициент теплоизоляции, поэтому необходима разработка новой конструкции СИЗ с применением различных типов материалов.

В связи с тем, что СИЗ при эксплуатации загрязняются неравномерно изменять их конструкцию следует с учетом топологии загрязнения поверхности средства индивидуальной защиты угольной пылью у работников различных профессий.

В целях исследования топологии загрязнения средств индивидуальной защиты было исследовано 60 образцов средств индивидуальной защиты от общих производственных загрязнений работников различных профессий на различных участках выполнения работы.

Для оценки топологии загрязнения применяемая конструкция средства индивидуальной защиты от общих производственных загрязнений (шахтёрский костюм) была разделена на 10 участков (рисунок 4.2), на основе которых проводились дальнейшие исследования.

Экспериментальная оценка топологии загрязнения средств индивидуальной защиты работников проводилась на основе визуального осмотра (рисунок 4.3) и выделения зон:

- сильной степени загрязнения угольной пылью;
- средней степени загрязнения угольной пылью;
- незначительного загрязнения угольной пылью.

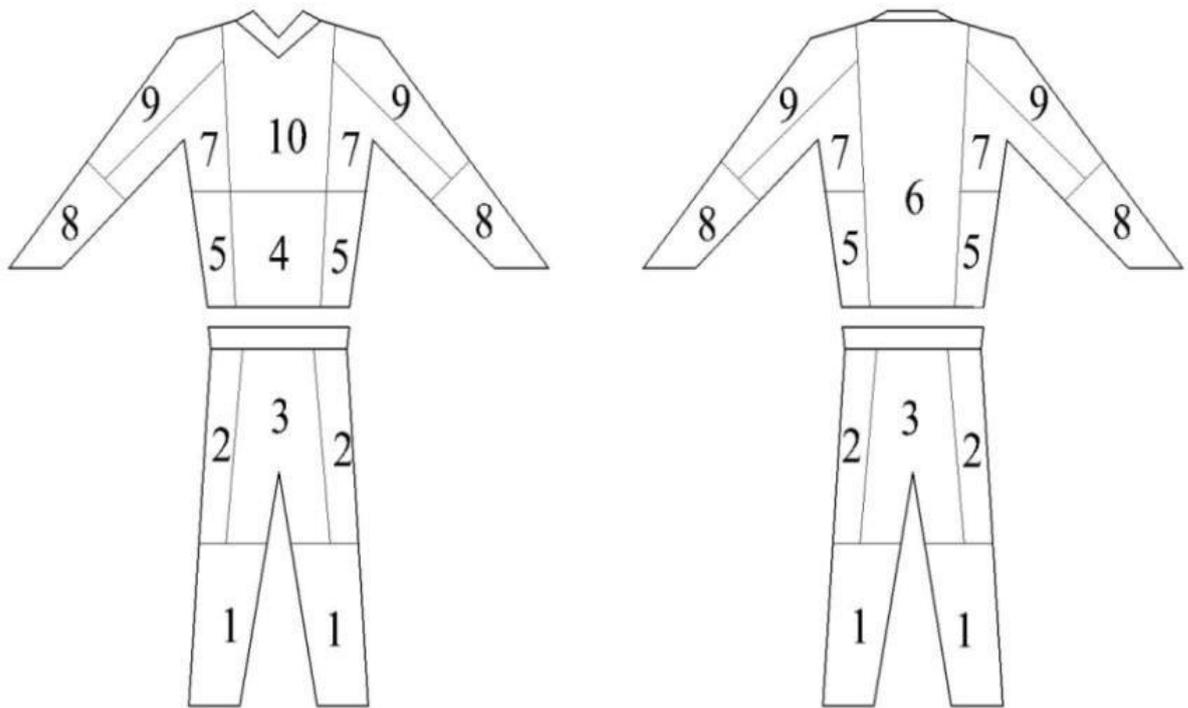


Рисунок 4.2 - Определение участков СИЗ с различной интенсивностью загрязнения



Рисунок 4.3 - Загрязненный костюм ГРП (участок проходческих работ)  
после 1 рабочей смены

Оценка топологии загрязнения средств индивидуальной защиты работников проводилась после добычной смены, для каждой профессии и участка

выполнения работ было оценено по 6 комплектов средств индивидуальной защиты от общих производственных загрязнений, результаты проведенного эксперимента представлены в приложении Г.

В результате анализа полученных данных было выявлено три наиболее часто встречающихся характера загрязнений для основных профессий горнорабочих и участков выполнения работ.

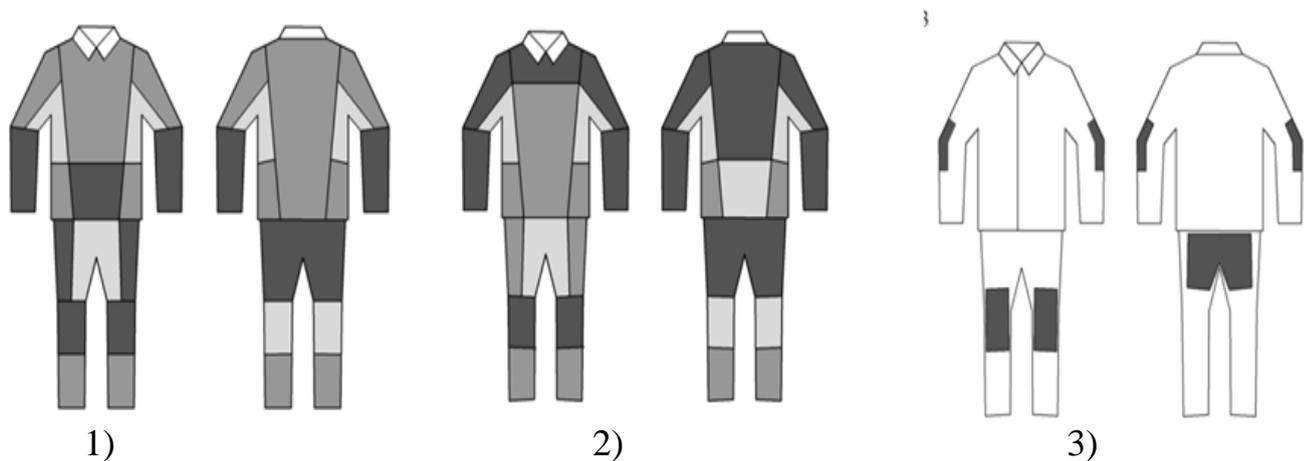


Рисунок 4.4 - Результаты определения топологии загрязнения средств индивидуальной защиты работников угольной пылью в течение одной смены

Первая схема загрязнения (рисунок 4.4.1) характерна для следующих работников: машинист горно-выемочных машин (добычной участок), горнорабочий подземный (добычной участок, участок проходческих работ), электрослесарь подземный (добычной участок, участок проходческих работ). Вторая схема загрязнения (рисунок 4.4.2) характерна для следующих работников: проходчик (участок проходческих работ), машинист горно-выемочных машин (участок проходческих работ), горнорабочий очистного забоя (добычной участок). Третья схема загрязнения СИЗ характерна для работников, осуществляющих руководство выполнением работ (горный мастер) (рисунок 4.4.3) и соответствует конструкции приведенной в ГОСТ Р 12.4.299-2017.

Топология загрязнения средств индивидуальной защиты работников зависит как от профессии работника, так и от участка выполнения работы [64].

## 4.2 Определение конструкции СИЗ, обеспечивающей тепловой комфорт работников, относящихся к III категории по уровню энергозатрат

Главными функциями средств индивидуальной защиты от общих производственных загрязнений являются их защитные свойства, именно поэтому для подземного персонала угольных шахт указанные СИЗ изготавливаются из плотных материалов, не ниже IV класса пылепроницаемости.

Однако, как было определено в п.4.1 интенсивность загрязнения средства индивидуальной защиты неравномерна, соответственно участки средства индивидуальной защиты менее подверженные загрязнению, могут обладать меньшей степенью защиты от угольной пыли, по сравнению с участками, которые подвергаются сильному загрязнению угольной пылью. За счёт использования материалов с меньшей плотностью на участках средства индивидуальной защиты можно уменьшить его общее тепловое сопротивление и за счёт этого обеспечить тепловой комфорт работника.

В рамках выбора материалов для конструирования средства индивидуальной защиты были рассмотрены материалы, рекомендованные ГОСТ 11209-85 «Ткани хлопчатобумажные и смешанные защитные для спецодежды. Технические условия» [18]. На основе поверхностной плотности и теплофизических параметров были определены основные три материала, подходящие для изготовления средств индивидуальной защиты от общих производственных загрязнений для подземного персонала угольных шахт (таблица 4.1).

Толщины выбранных материалов определялись по формуле 3.14 на основе значений их поверхностных плотностей.

Коэффициент теплопроводности каждого из материалов рассматривается как некоторая усредненная или эффективная величина, учитывающая и структурную неоднородность волокнистого слоя, и совместный радиационно-кондуктивный теплоперенос в нем [65]. В связи с этим коэффициенты теплопроводности материалов определялись исходя из экспериментальных и

справочных данных [71], на основе которых были получены значения тепловых сопротивлений для каждого используемого материала (таблица 4.2).

Таблица 4.1 - Материалы, входящие в конструкцию СИЗ

Наименование материала	Поверхностная плотность, г/м <sup>2</sup>	Толщина, мм	Состав	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°С).	Соответствие нормативным требованиям	Дополнительные свойства
ФАРМА LIGHT	150	0,8	60% хлопок, 40% полиэфир	0,15	ГОСТ 12.4.280-2014	Антибактериальные свойства
АНТИСТАТ ЛАЙТ	220	1,3	65% хлопок, 35% полиэфир, антистатическая нить	0,13	ГОСТ 12.4.280-2014	Антистатические свойства [85]
ФАС (FAS)	370	1,89	100% хлопок	0,05	ГОСТ 12.4.280-2014	Высокая прочность, соответствует IV классу пыленепроницаемости.

Таблица 4.2 - Тепловое сопротивление материалов, выбранных для конструирования образца СИЗ от общих производственных загрязнений

Название	ФАРМА LIGHT	АНТИСТАТ ЛАЙТ	ФАС (FAS)
Тепловое сопротивление, м <sup>2</sup> ·°С/Вт	0,005	0,01	0,038

На основе полученных тепловых сопротивлений и необходимого уровня теплоизоляции СИЗ для обеспечения теплового комфорта методом подбора были определены площади поверхности каждого материала: площадь поверхности вставок из материала малой плотности (до 200 мг/м<sup>3</sup>, например, ткань ФАРМА LIGHT 150) составляет около 15% от общей площади поверхности, соответственно равна 0,28 м<sup>2</sup> ( $S_1=0,28 \text{ м}^2$ ).

Площадь поверхности вставок из материала средней плотности от 200 до 300 мг/м<sup>3</sup>, например, ткань АНТИСТАТ ЛАЙТ составляет около 60% от общей площади поверхности, соответственно равна 1,12 м<sup>2</sup> ( $S_2=1,12 \text{ м}^2$ ).

Площадь поверхности вставок из материала высокой плотности свыше 350 мг/м<sup>3</sup>, обладающего IV классом защиты по пылепроницаемости, например, ткани ФАС (FAS) составляет около 25% от общей площади поверхности, соответственно равна 0,47 м<sup>2</sup> ( $S_3=0,47 \text{ м}^2$ ).

На основе полученных данных была предложена конструкция средства индивидуальной защиты, обеспечивающая тепловой комфорт работников III категории работ по уровню энергозатрат, представленная на рисунке 4.5.

Средство индивидуальной защиты выполнено из однослойных материалов и включает куртку и брюки. Куртка выполнена в виде прямого силуэта, снабжена воротником 1 (рисунок 4.5). Верхняя передняя часть куртки 2, спинка 5, верхняя часть рукава 3 и боковые прямоугольные вставки 4 выполнены из материала средней плотности от 200 до 300 мг/м<sup>3</sup>, например, ткань АНТИСТАТ ЛАЙТ. Спинка 5 и верхняя передняя часть куртки 2 выполнены без плечевых швов. Рукав одношовный, состоит из двух частей, верхняя часть рукава 3 состроена с боковой вставкой подмышечной области куртки 4 сложной формы, которая выполнена из материала малой плотности до 200 мг/м<sup>3</sup>, например, ткань ФАРМА LIGHT 150 к ним, выше локтевого сгиба пристроена нижняя часть рукава 6, которая выполненная из материала высокой плотности свыше 350 мг/м<sup>3</sup>, обладающего IV классом защиты по пылепроницаемости, например, ткани ФАС (FAS). Нижняя

передняя часть куртки 7 трапецевидной формы, выполнена так же из материала высокой плотности и на одном уровне сострочена с боковыми прямоугольными вставками 8. В центральной части по окружности нижней части рукава 6, в локтевой области верхней части рукава 3, на расстоянии 1/3 от края куртки и в грудной области передней часть куртки и спинки 5 настрочены полосы из световозвращающего материала 15. От полос из световозвращающего материала 15 в грудной области нижней передней часть куртки 7 и спинки 5 перпендикулярно через плечевые области настрочены полосы из световозвращающего материала 15. Полосы из световозвращающего материала 15 выполнены согласно ГОСТ 12.4.281-2014 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Одежда специальная повышенной видимости. Технические требования».

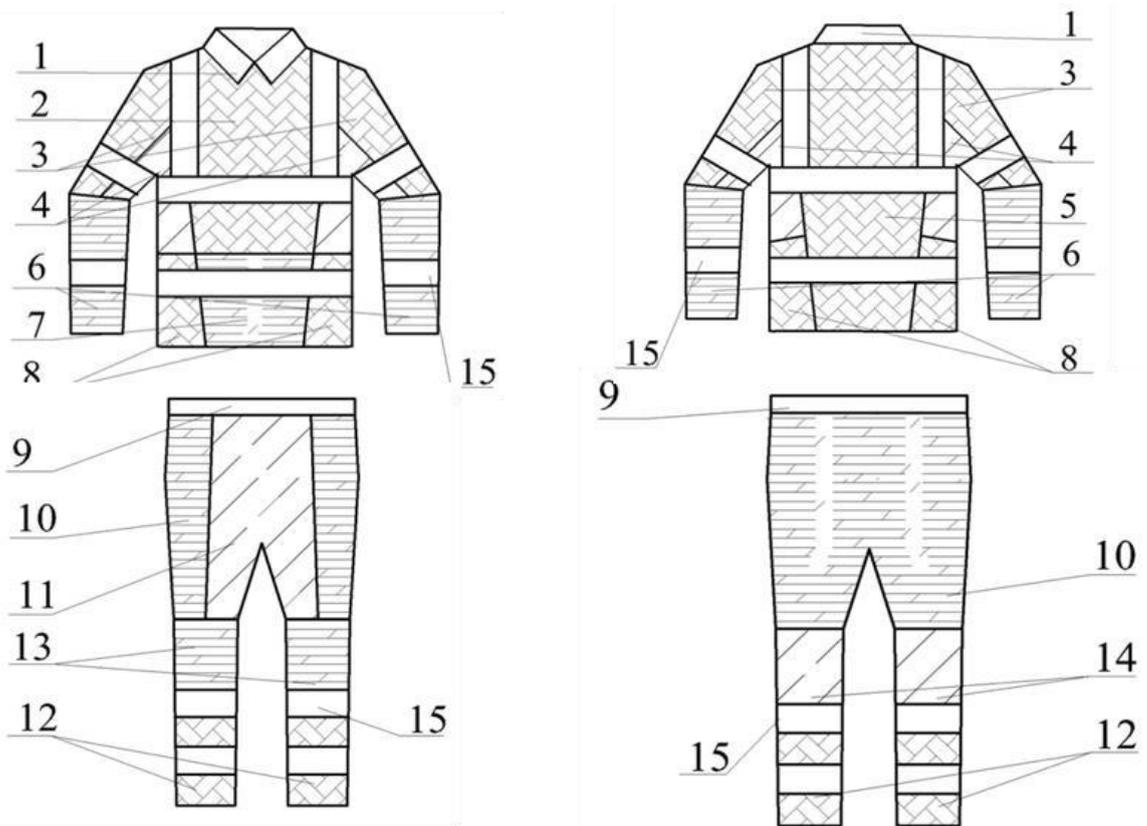


Рисунок 4.5 - Конструкция средства индивидуальной защиты от общих производственных загрязнений: 1 – воротник; 2 – верхняя передняя часть куртки; 3 – верхняя часть рукава; 4 – боковая вставка в подмышечной области куртки; 5 – спинка; 6 – нижняя часть рукава; 7 – нижняя передняя часть куртки; 8 – боковые прямоугольные вставки; 9 – пояс; 10 – верхняя часть брюк; 11 – вставка в области шаговых швов; 12 – нижняя часть брюк; 13 – прямоугольная вставка в области колена; 14 – прямоугольная вставка в области подколенной ямки; 15 – полосы из световозвращающего материала

Брюки выполнены с цельнокроеным поясом 9. Верхняя часть брюк 10 из материала высокой плотности, например, ткани ФАС (FAS) состроена с вставкой в области шаговых швов 11, из материала малой плотности до  $200 \text{ мг/м}^3$ , например, ФАРМА LIGHT 150. Верхняя часть брюк 10 и вставка в области шаговых швов 11 состроены внизу с прямоугольной вставкой на передней части колена 13 выполненной из материала высокой плотности свыше  $350 \text{ мг/м}^3$  и с прямоугольной вставкой области подколенной ямки 14 из материала малой плотности до  $200 \text{ мг/м}^3$ , нижние части прямоугольной вставки в области колена 13 и прямоугольной вставкой области подколенной ямки 14 состроены с нижней частью брюк из материала средней плотности от 200 до  $300 \text{ мг/м}^3$ . В нижней части брюк на равном расстоянии друг от друга настроены полосы из световозвращающего материала 15.

Соединение деталей средства индивидуальной защиты выполнены потайным швом, края сначала склеиваются встык, затем с внутренней части они сшиваются таким образом, чтобы нить не проходила насквозь и не попадала на внешнюю сторону. За счет этого достигается достаточная гибкость и водонепроницаемость шва.

Предложенная конструкция средства индивидуальной защиты от общих производственных загрязнений включает следующие элементы, обеспечивающие снижение теплового сопротивления комплекта специальной одежды:

- вставки в подмышечной области куртки, в области шаговых швов и задней части брюк выполнены из материала малой плотности, это позволяет быстро выводить излишнее тепло от тела человека и обеспечивают быстрое испарение пота при интенсивной физической нагрузке;
- вставки в передней нижней части куртки, нижней части рукава, верхней части брюк и вставки в области колена, выполненные из материала высокой плотности, обеспечивают защиту работника от угольной пыли. Причем конструктивно эти вставки размещены на средстве индивидуальной защиты в

соответствии с топологией их загрязнения в процессе выполнения работ, а также со спецификой трудовых движений, выполняемых работником при осуществлении своей деятельности в шахте;

– вставки из материала высокой плотности, создающие сопротивление тепломассообмену работника с окружающей средой расположены преимущественно в области колен, локтей и живота работника, т.е. зон с наименьшим уровнем тепловыделения при выполнении физической нагрузки, тем самым обеспечивается дополнительная защита без нарушения теплоотделения, кроме того предложенный материал высокой плотности - ткань ФАС (FAS) полностью состоит из хлопка, который не создает парникового эффекта, отводит лишнюю влагу, не накапливает статического электричества, защищает от микроскопических и ультрамикроскопических частиц, но не нарушает газообмена, в т.ч. поступления кислорода к коже и отвода углекислоты.

– спинка, верхняя часть рукава, передняя часть костюма, боковые прямоугольные вставки и нижняя часть брюк выполнены из материала средней плотности, что позволяет обеспечить интенсивный отвод тепла от тела работника, способствует влагоотводу и при этом сохраняет необходимый уровень защитных свойств от угольной пыли.

– отсутствие дополнительных накладок и двухслойных материалов, обеспечивает естественную циркуляцию воздуха через средство индивидуальной защиты, что гарантированно исключит перегрев работника, т.к. общеизвестно, что при равномерном потоотделении с последующим испарением влаги происходит понижение температуры и охлаждение кожных покровов;

– нижняя часть брюк, как правило, при выполнении работ находится в специальной обуви, например, в резиновых сапогах, и при этом имеет более высокую температуру по сравнению с верхней частью, тепломассообмен через специальную обувь фактически отсутствует и происходит накопление тепла. Штанины брюк предлагаемой конструкции будут являться своеобразными элевационными колоннами для отвода тепла. Элевационный эффект усиливается

наличием вставок из материала малой плотности, в области шаговых швов и подколенной ямки, которая расположена непосредственно над специальной обувью работника в процессе эксплуатации средства индивидуальной защиты.

### 4.3 Оценка теплового комфорта работников, относящихся к III категории по уровню энергозатрат в предложенном средстве индивидуальной защиты

При расчете общего теплового сопротивления предлагаемого средства защиты от общих производственных загрязнений необходимо учитывать неоднородность его конструкции. Для этого полученное тепловое сопротивление каждого материала суммируется с учетом занимаемой площади в конструкции средства индивидуальной защиты [15, 95].

В результате среднее тепловое сопротивление предлагаемой конструкции средства индивидуальной защиты от общих производственных загрязнений равно  $0,032 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ , а общее тепловое сопротивление комплекта СИЗ (с учётом нательного белья) рассчитанное по формуле 3.12 составляет  $0,093 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ , что по соотношению 3.13 соответствует  $0,6 \text{ clo}$  (рисунок 4.6). Как видно из рисунка 4.6 тепловой комфорт работника при выполнении работ III категории по уровню энергозатрат обеспечивается конструкцией средств индивидуальной защиты от общих производственных загрязнений учитывающей топографию загрязнения поверхности средства индивидуальной защиты угольной пылью.

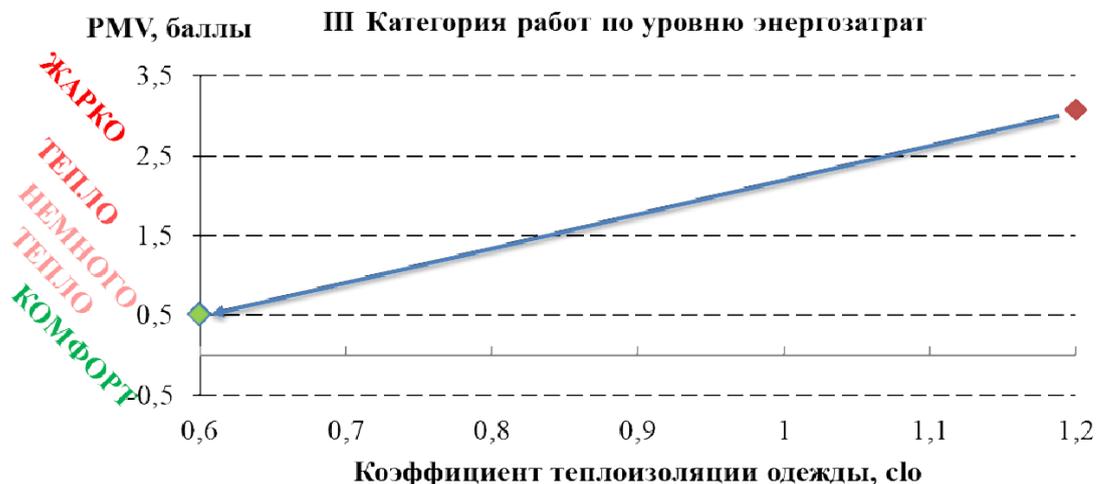


Рисунок 4.6 - Тепловой комфорт работников в СИЗ предлагаемой конструкции и применяемом СИЗ на данный момент

#### **4.4 Предложения по изменению корпоративных стандартов по охране труда угледобывающих компаний в части обеспечения работников средствами индивидуальной защиты**

Выбор средств индивидуальной защиты от общих производственных загрязнений необходимо осуществлять на основе условий труда работника, с учётом требований государственных стандартов и технических регламентов, действующих на территории стран Таможенного союза.

Средства индивидуальной защиты от общих производственных загрязнений для подземного персонала угольных шахт должны соответствовать следующим требованиям: обеспечивать защиту кожных покровов работников от загрязнения угольной пылью; обеспечивать поддержание теплового комфорта работников на протяжении всего рабочего времени; обладать достаточной прочностью, стойкостью к механическим воздействиям; быть удобными, не сковывающими движения, не вызывающие напряжения мышц и ощущение дискомфорта.

При выборе средств индивидуальной защиты от общих производственных загрязнений необходимо учитывать категорию работ по уровню энергозатрат работников. Для обеспечения теплового комфорта работников III категории работ по уровню энергозатрат коэффициент теплоизоляции комплекта СИЗ должен составлять не более 0,6 clo, т.е. в два раза меньше, чем они используют сейчас (1,2 clo), для обеспечения теплового комфорта работников категории работ по уровню энергозатрат IIб необходимо выбирать комплект СИЗ коэффициент теплоизоляции которого не превышает 0,7 clo, для работников IIа категории работ по уровню энергозатрат следует выбирать СИЗ с коэффициентом теплоизоляции до 0,9 clo.

Необходимо выдавать работникам 2 комплекта средств индивидуальной защиты от общих производственных загрязнений с удвоенным сроком носки, для обеспечения возможности стирки СИЗ после каждой смены, организовать дополнительный контроль над периодичностью стирки СИЗ работниками.

При выборе средств индивидуальной защиты от общих производственных

загрязнений необходимо учитывать их конструктивные особенности, влияющие на тепловой комфорт работника: тип материала, его плотность, наличие дополнительных накладок, наличие вентиляционных отверстий, манжет и напульсников.

Предлагаемые рекомендации рассмотрены и приняты к использованию в ООО «Шахтоуправление «Садкинское» (приложение Д).

#### **4.5 Выводы по главе 4**

1. На основе конструкции применяемого СИЗ от общих производственных загрязнений невозможно обеспечить тепловой комфорт работников, относящихся к III категории по уровню энергозатрат по причине изготовления СИЗ из однородного материала высокой плотности и наличия дополнительных накладок в области: локтя рукавов куртки; колена на передних половинках брюк; сидения на задних половинках брюк.

2. Конструкция средства индивидуальной защиты от общих производственных загрязнений должна определяться топологией их загрязнения в процессе эксплуатации.

3. Тепловой комфорт работника при выполнении работ III категории по уровню энергозатрат обеспечивается конструкцией средств индивидуальной защиты от общих производственных загрязнений учитывающей топологию загрязнения поверхности средства индивидуальной защиты угольной пылью.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертации на основе выполненных экспериментальных и теоретических исследований обоснованы параметры средств индивидуальной защиты работников для обеспечения теплового комфорта подземного персонала угольных шахт.

Основные научные и практические результаты, полученные в процессе выполнения диссертационной работы, заключаются в следующем:

Определены показатели теплового комфорта подземного персонала угольных шахт при работе в средствах индивидуальной защиты от общих производственных загрязнений с учётом энергозатрат работников, коэффициента теплоизоляции применяемых средств индивидуальной защиты, коэффициента площади поверхности средств индивидуальной защиты, температуры воздуха, скорости движения и влажности воздуха.

Установлена закономерность изменения теплового комфорта работника в зависимости от категории работ по уровню энергозатрат, на основе которой следует выбирать средства индивидуальной защиты от общих производственных загрязнений.

Проведена экспериментальная оценка влияния загрязнения средств индивидуальной защиты угольной пылью на параметры, определяющие тепловой комфорт работника. Загрязнение СИЗ замедляет потери тепла работником, препятствует нормальному испарению влаги с поверхности кожи, что приводит к нарушению теплового комфорта и полному или частичному отказу от применения комплекта СИЗ при выполнении работ.

Определены показатели теплового комфорта подземного персонала угольных шахт при работе в загрязнённых средствах индивидуальной защиты. Загрязнение СИЗ приводит к изменению теплового состояния работников и увеличивает значение показателя теплового комфорта PMV на 20-25% в сторону теплоощущения «жарко».

Определена топология загрязнения угольной пылью средств индивидуальной защиты подземного персонала угольных шахт на основе выделения зон с различной степенью загрязнения и выявлены три наиболее часто встречающихся характера загрязнений в зависимости от профессии работника и участка выполнения работ.

Разработан экспериментальный образец средства индивидуальной защиты от общих производственных загрязнений, обеспечивающий тепловой комфорт работников III категории работ по уровню энергозатрат.

Разработаны предложения по изменению корпоративных стандартов по охране труда угледобывающих компаний в части обеспечения работников средствами индивидуальной защиты, с учётом категории работ по уровню энергозатрат и загрязнения средств индивидуальной защиты от общих производственных загрязнений угольной пылью.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Айзенштадт, Б. А. Метод расчета некоторых биоклиматических показателей / Б.А. Айзенштадт // Метеорология и гидрология. -1964. -№ 12. - С. 9-16.
2. Архангельский, Н.А. Воздухопроницаемость тканей Эксплуатационные свойства тканей и современные методы их исследования /Н.А. Архангельский //Ростехиздат. -1960. - С. 376-413.
3. Бадагуев, Б.Т. Средства индивидуальной защиты. Классификация и контроль качества. Порядок выдачи и применения. Хранение и уход. Учет в СИЗ / Б.Т. Бадагуев // - М.: Альфа-Пресс, -2012. - 128 с.
4. Банхиди, Л. Тепловой микроклимат помещений: Расчет комфортных параметров по теплоощущениям человека./ Пер. с венг. В.М. Беляева; под ред. В.И. Прохорова.// -М.: Стройиздат, -1981. - 248 с.
5. Бойко, С.Ю. Исследование теплопроводности основоворсовой ткани в зависимости от ее толщины и волокнистого состава уточных нитей / С.Ю Бойко, М.В. Назарова // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2014. – № 9-2. – С. 11-15;
6. Бурлаков, С.Д. Оценка влияния условий среды и труда на безопасность жизнедеятельности человека при освоении минерально-сырьевых ресурсов крайнего севера: монография / С. Д. Бурлаков, Ю.В. Шувалов// – СПб: ГАЛАРТ -2002. – 268 с.
7. Васильева, Е.А. Новые решения для обеспечения безопасности рабочих горной отрасли // Рекультивация выработанного пространства: проблемы и перспективы Сборник статей IV международной научно-практической Интернет-конференции.- 2019. -С. 53-54.
8. Вибе, А.Ю. Инновационные средства индивидуальной защиты для сварщиков / А.Ю. Вибе, И.Н. Паскарь // Инновационный конвент "Кузбасс: образование, наука, инновации" Материалы Инновационного конвента. Департамент молодежной политики и спорта Кемеровской области. -2019. -

С 19-20.

9. Вознесенский, В.В. Средства защиты органов дыхания и кожи. Противогазы, респираторы и защитная одежда, основы их эксплуатации: Учебное пособие / В.В. Вознесенский // - М.: Б-чка Воен. знания, -2010. - 80 с.

10. Ворошилов, Я.С. Влияние угольной пыли на профессиональную заболеваемость работников угольной отрасли / Я.С. Ворошилов, А.И. Фомин // Уголь. -2019. -№ 4 (1117). -С. 20-25.

11. Галлер, А.А. Угольная промышленность Кузбасса: проблемы и перспективы / А.А. Галлер, Н.В. Кудреватых Ответственные ред.: Пушкина О.В. // Современные вопросы естествознания и экономики сборник трудов Международной научно-практической конференции. Прокопьевск, - 2019. -С. 109-111.

12. Головина, Е.Г. Методика расчетов биометеорологических параметров (индексов) / Е.Г. Головина, М.А. Трубина // - СПб.: Гидрометеиздат, -1997. - 110 с.

13. Головкова, Н. П. Оценка условий труда, профессионального риска, состояния профессиональной заболеваемости и производственного травматизма рабочих угольной промышленности / Н.П. Головкова, А.Г. Чеботарёв, Н.А. Хелковский-Сергеев, Н.О. Каледина // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). - 2011. - №7. - С. 348-352. - URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-usloviy-truda-professionalnogo-riska-sostoyaniya-professionalnoy-zabolevaemosti-i-proizvodstvennogotravmatizma-rabochih> (дата обращения: 24.06.2019).

14. Голод, В.А. Обеспечение теплового комфорта работников угольных шахт с учетом средств индивидуальной защиты / Голод В.А., Рудаков М.Л., Степанова Л.В. // Промышленная безопасность предприятий минерально-сырьевого комплекса в XXI веке. Том 2. Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал) - 2019. - № 4 - (специальный выпуск 7). - С. 39-49. -М.: Издательство: «Горная книга».

15. Голод, В.А. Обоснование параметров средств индивидуальной защиты

работников для обеспечения теплового комфорта подземного персонала угольных шахт/ Голод В.А., Рудаков М.Л., Степанова Л.В. // Безопасность труда в промышленности. - 2019. - № 5 - С. 52-58

16. ГОСТ 12.4.280-2014 Одежда специальная для защиты от общих производственных загрязнений и механических воздействий. Общие технические требования: система стандартов безопасности труда : издание официальное: утвержден и введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 26 ноября 2014 г. № 1812-ст / подготовлен открытым акционерным обществом «Центральный научно-исследовательский институт швейной промышленности». – Москва : Стандартинформ, -2014. - 26 с.

17. ГОСТ 12088-77 Материалы текстильные и изделия из них. Метод определения воздухопроницаемости (с Изменениями N 1, 2) : система стандартов безопасности труда : издание официальное: утвержден и введен в действие постановлением Государственного комитета стандартов Совета Министров СССР от 11.02.77 N 367 / подготовлен Министерством легкой промышленности СССР. – Москва, -1979, - 21 с.

18. ГОСТ 11209-85 Ткани хлопчатобумажные и смешанные защитные для спецодежды. Технические условия (с Изменениями N 1, 2, 3) : система стандартов безопасности труда : издание официальное: утвержден и введен в действие постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 23.07.85 N 2317 / подготовлен Министерством легкой промышленности СССР. – Москва, -1986, - 30 с.

19. ГОСТ Р ИСО 7730-2009 Эргономика термальной среды. Аналитическое определение и интерпретация комфортности теплового режима с использованием расчета показателей PMV и PPD и критериев локального теплового комфорта : система стандартов безопасности труда : издание официальное: утвержден и введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 7 декабря 2009 г. N 573-ст / подготовлен Автономной некоммерческой организацией "Научно-

исследовательский центр контроля и диагностики технических систем" – Москва, Стандартинформ, -2011. - 38 с. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200076557> (дата обращения: 21.08.2018).

20. ГОСТ Р ИСО 8996-2008 Эргономика термальной среды. Определение скорости обмена веществ : система стандартов безопасности труда : издание официальное: утвержден и введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 18 декабря 2008 г. N 484-ст / подготовлен Автономной некоммерческой организацией "Научно-исследовательский центр контроля и диагностики технических систем" – Москва, Стандартинформ, -2011. - 32 с.

21. ГОСТ Р 12.4.299-2017 Система стандартов безопасности труда. Костюмы шахтерские для защиты от механических воздействий и общих производственных загрязнений. Общие технические требования: система стандартов безопасности труда : издание официальное: утвержден и введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 26 декабря 2017 г. N 2114-ст / подготовлен Открытым акционерным обществом "Центральный научно-исследовательский институт швейной промышленности" – Москва, Стандартинформ, -2017. - 28 с.

22. ГОСТ 12.0.003-2015 Система стандартов безопасности труда. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация : Межгосударственный стандарт : утвержден и введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 9 июня 2016 г. N 602-ст / подготовлен обществом с ограниченной ответственностью "Экожилсервис", ФГБОУ ВПО "Пермский национальный исследовательский политехнический университет" – Москва : Стандартинформ, -2016. - 16 с.

23. Гущина, К.Г. Эксплуатационные свойства материалов для одежды и методы оценки их качества // Справочник. - Москва. Легкая и пищевая промышленность.- 1984. -С. 34-36.

24. Делль, Р.А. Гигиена одежды / Р.А. Делль, Р.Ф. Афанасьева, З.С. Чубарова. //«Легкая индустрия», - Москва -1979. -148 с.

25. Долженков, А.Ф. Способы и средства создания безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах. –2013. –2 (32). ДонНТУ, Донецк.

26. Дульнев, Г.Н. Теплопроводность смесей и композиционных материалов / Г.Н. Дульнев, Ю.П. Заричняк// – Л.: Энергия, -1974. -С.11-14

27. Ефремов, С.В., Влияние неритмичности производства на развитие утомления / С.В. Ефремов, С.А. Фаустов, С.Л. Пугач // В сборнике: Актуальные проблемы охраны труда материалы III Всероссийской научно-методической конференции. Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет. -2015. С. 130-132.

28. Жигалова, Т.М. О тепло- и влагообмене человека в спецодежде с окружающей средой Текст. / Т.М. Жигалова, З.С. Чубарова, А.А. Захарова // Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности. 1991. - №4. - С.55-60.

29. Жижкин, А. М. Экспериментальные исследования эффективной теплопроводности образцов из материала МР // Вестник СГАУ. -2006. -№2-2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/eksperimentalnye-issledovaniyaeffektivnoy-teploprovodnosti-obraztsov-iz-materiala-mp> (дата обращения: 25.06.2019).

30. Занько, Н. Г. Физиология человека. Методы исследования функций организма: лабораторный практикум / Н. Г. Занько //- СПб.: СПбГЛТА, -2003. - 36 с.

31. Злотин, Г.Н. Стационарная теплопроводность: Методические указания к изучению материала КОМ./ Г.Н. Злотин, В.В. Малов // – ВолгГТУ. – Волгоград,- №7. - 1992. – 29 с.

32. Иванов, К.П. Мышечная система и химическая терморегуляция /К.П. Иванов // -М., -1965. -127 с.

33. Исаев, А. А. Экологическая климатология / А.А. Исаев //— М.: Научный мир, -2001, -458 с.

34. Каминский, С.Л. Средства индивидуальной защиты в охране труда / С.Л. Каминский//- Вологда: Инфра-Инженерия, -2010. - 256 с.

35. Качурин, Н.М. Травматизм и профессиональная заболеваемость при

подземной добыче полезных ископаемых: монография / Н.М. Качурин, В.И. Ефимов, Е.Б. Коклянов, И.П. Карначев, А.Н. Никанов // – Тула : Изд-во Тульского государственного университета, -2012. – 356 с.

36. Киш, А.А. Методика оценки тепловой устойчивости у спортсменов циклических видов спорта / А.А. Киш, М.А. Брагин, М.Ю. Зорин // Саратовский научно-медицинский журнал. -2017. -№4. –С. 15-32

37. Кокеткин, П.П. Промышленное проектирование специальной одежды. / П.П. Кокеткин, З.С. Чубарова, Р.Ф. Афанасьева //М.: Легкая и пищевая промышленность, -1982.- 184с.

38. Колесников, П.А. Основы проектирования теплозащитной одежды // Издательство «Легкая индустрия», -Москва. -1971. – 48 с.

39. Колесников, П.А. Теплозащитные свойства одежды // Издательство «Легкая индустрия», -Москва. -1965. -87 с.

40. Кондратьев, Г.М. Регулярный тепловой режим // Гостехиздат, - 1954. – 67 с.

41. Кондрацкий, Э.В. К вопросу о воздухопроницаемости тканей // Известия вузов. Технология текстильной промышленности, -1971, -№ 3, -С.27-31.

42. Корнюхии, И.П. Тепломассообмен в пористых телах / И.П. Корнюхии, Л.И. Жмакин //-М. Изд.«Илформэлеюгро».-2000. – 235 с.

43. Коротких, А.Г. Теплопроводность материалов: учебное пособие // Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, -2011. – 97 с.

44. Короткова, И.В. Теоретическое и экспериментальное исследование воздухопроницаемости текстильных материалов / И.В. Короткова, Бухарин В.И. //— М.: - 1983. Деп. в ЦНИИТЭИлегпром. - № 868.

45. Кукин, Г.Н. Текстильное материаловедение. Часть 3. / Г.Н. Кукин, А.Н. Соловьев //«Легкая индустрия». Москва, - 1967. – С. 23-32

46. Кулай, С.В. Средства индивидуальной защиты при работе на угледобывающих предприятиях / С.В. Кулай, Е.А. Гриднева, А.О. Дайнеко //

Перспективы инновационного развития угольных регионов России Сборник трудов V Международной научно-практической конференции. -2016. - С. 238-240.

47. Леонтьев, Г.В. Снижение класса условий труда при использовании средств индивидуальной защиты: обоснованная реальность или миф / К.Р. Малаян, О.Н. Русак, С.А. Фаустов // Безопасность жизнедеятельности. - 2015.- № 8 (176). -С. 3-8.

48. Межотраслевые правила обеспечения работников специальной одеждой, специальной обувью и другими средствами индивидуальной защиты: издание официальное : утверждены приказом Минздравсоцразвития России от 01.06.2009 N 290н (ред. от 12.01.2015) Зарегистрировано в Минюсте России 10.09.2009 N 14742)

49. Методические рекомендации физиологические нормы напряжения организма при физическом труде МР 2189-80 : издание официальное : утверждены главным государственным санитарным врачом СССР, 15.07.1980 / разработаны в Свердловском научно-исследовательском институте гигиены труда и профзаболеваний. Утверждены Заместителем Главного государственного санитарного врача СССР А.И. Заиченко 15 июля 1980 г. N 2189-80. - Москва. -1980, - 4 с.

50. Миронов, Л.А. Применение средств индивидуальной защиты //Новгород: Биота-Плюс, -2009. -123 с.

51. Михеев, М.А. Основы теплопередачи //- М. - Л.: ГЭИ, -1956. -390с

52. Мохначук, И.И. Российский независимый профсоюз работников угольной промышленности – защитник интересов шахтёров России // Горная промышленность. – 2011. № 5(99), С. 10-19. - URL: <https://mining-media.ru/ru/article/prombez/4679-tyazhest-i-napryazhjonnost-truda-rabotnikov-pri-dobyche-poleznykh-iskopaemykh-mery-profilaktiki>

53. Орлов, М. Е. Теоретические основы теплотехники. Тепломассообмен: учебное пособие // Ульяновский гос. техн. ун-т. – Ульяновск : УлГТУ, -2013. – 204 с.

54. Осипова, В.А. Экспериментальное исследование процессов теплообмена. – М.: Энергия, -1979. – 318 с.

55. Приказ Министерства труда и социальной защиты РФ от 24.01.2014 № 33н «Об утверждении Методики проведения специальной оценки условий труда, Классификатора вредных и (или) опасных производственных факторов, формы отчета о проведении специальной оценки условий труда и инструкции по ее заполнению» (с изменениями на 14 ноября 2016 года) (Зарегистрировано в Министерстве юстиции Российской Федерации 21.03.2014, № 31689) // Российская газета. – 2014. – № 71.

56. Разбродин, А.В. Разработка коэффициента взаимосвязи теплозащиты и поверхностной плотности стеганого одеяла / А.В. Разбродин, К.Э. Разумеев, // Сборник научных трудов ОАО НПК «ЦНИИШерсть». -М., -2006, -С. 107-116.

57. Разбродин, А.В. Аналитическое исследование формул теплового баланса человеческого организма для последующего расчета термического сопротивления стеганых одеял / А.В. Разбродин, К.Э. Разумеев, // Известия ВУЗов. Технология текстильной промышленности. -2006, -№ 2. -С. 55-59.

58. Российская Федерация. Законы. Трудовой кодекс Российской Федерации: ТК : текст с изменениями и дополнениями на 1 апреля 2019 года : [принят Государственной думой 21 декабря 2001 года : одобрен Советом Федерации 26 декабря 2001 года]: - Москва URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_34683/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34683/) (дата обращения 12.04.2019). -Текст электронный.

59. Российская Федерация. Законы. О специальной оценке условий труда: Федеральный закон № 426-ФЗ (ред. от 27.12.2018) : [принят Государственной Думой 23 декабря 2013 г.: одобрен Советом Федерации 25 декабря 2013 г.] // Российская газета.– 200. – № 295.

60. Рублак, К. Методы интегральной климатической оценки. / К. Рублак, Р.Ф. Афанасьева, Х. Бютель // Гигиенические основы профилактики неблагоприятного воздействия производственного микроклимата на организм человека. - М., 1992. - Выл. 43. - С. 133-149

61. Рябова, Т.В. Обоснование и расчет эквивалентных параметров теплового комфорта помещения / Т.В. Рябова, А.Б. Сулин, Ю.Н. Санкина // Вестник Международной академии холода. -2018. -№ 2. -С. 78–84.

62. Рудаков, М.Л., Аналитический обзор основных проблем применения средств индивидуальной защиты работниками угольной промышленности России / М.Л. Рудаков, А.Н. Никулин, Л.В. Степанова // Промышленная безопасность минерально-сырьевого комплекса в XXI веке: Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал) -2015. - № 11 (специальный выпуск 60-2) - С. 621-627. -М.: Издательство «Горная книга»

63. Рудаков, М.Л. Обоснование требований к шахтерскому костюму для работников занятых на добыче угля подземным способом /М.Л. Рудаков, Л.В. Степанова // Сборник научных трудов Международной научно-практической конференции Студенческого отделения европейской ассоциации геочеловеческих и инженеров - European Association of Geoscientists and Engineers (EAGE). Природные процессы в нефтегазовой отрасли. Geonature 2017 -2017. -С. 280-282.

64. Рудаков, М.Л. Особенности использования работниками шахтерского костюма от общих производственных загрязнений и механических повреждений / М.Л. Рудаков, В.И. Экгарт, Л.В. Степанова // Промышленная безопасность минерально-сырьевого комплекса в XXI веке: Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал) - 2017. - № 4 - (специальный выпуск 5-2). - С. 539-546. -М.: Издательство: «Горная книга»

65. Рудаков, М.Л. Особенности использования работниками средств индивидуальной защиты от общих производственных загрязнений и механических повреждений / М.Л. Рудаков, Л.В. Степанова // II Международная научно-практическая конференция «Промышленная безопасность предприятий минерально-сырьевого комплекса в XXI веке»: Тезисы докладов/ Санкт-Петербургский горный университет. -СПб, -2016. -

С. 78

66. Рудаков, М.Л. Оценка теплового комфорта работников угольных шахт/ М.Л. Рудаков, Л.В. Степанова// II Международная научно-практическая конференция «Промышленная безопасность предприятий минерально-сырьевого комплекса в XXI веке»: Тезисы докладов/ Санкт-Петербургский горный университет. -СПб, -2018. -С. 44.

67. Русак, О.Н. Роль средств индивидуальной защиты в системе оздоровления труда /О.Н. Русак, С.А. Фаустов, А.Д. Цветкова // Безопасность жизнедеятельности. -2016. -№ 7 (187). -С. 3-6.

68. Сальцевич, Л.Л. Влияние запыленности кожных покровов на гнойничковую заболеваемость / Л.Л. Сальцевич, Ю.П. Тихов // Уголь Украины. – 1981. – № 5. – С. 34.

69. СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений : издание официальное: утвержден и введен в действие постановлением Госкомсанэпиднадзора России от 1 октября 1996 г., N 21. / подготовлен НИИ медицины труда РАМН (Афанасьева Р.Ф., Репин Г.Н., Михайлова Н.С., Бессонова Н.А., Бурмистрова О.В., Лосик Т.К.); Московский НИИ гигиены им. Ф.Ф.Эрисмана (Устюшин Б.В.); при участии Санкт-Петербургского НИИ гигиены труда и профзаболеваний (Синицина Е.В., Чащин В.П.); Госкомсанэпиднадзор России (Лыткин Б.Г., Кучеренко А.И.). - М.: Изд-во стандартов, -1996. - 21с.

70. Скворцова, В.Н. Зависимость воздухопроницаемости ткани от максимальной длины перекрытия //Текстильная промышленность. -1968. - № 6. - С. 75 - 76.

71. Склянников, В.П. Строение и качество тканей // -М., Легкая и пищевая промышленность, -1984, - 176 с.

72. Слоневский, С.И., Изучение микроклимата одежды / С.И. Слоневский, А.И. Миронова // В сб. "К вопросу изучения гигиены одежды". Труды АМН СССР. Т.30. — М.: Медгиз. -1953.

73. Степанова, Л.В. Актуальные проблемы использования средств

индивидуальной защиты в угольной промышленности России / Л.В. Степанова, О.Ю. Баранова // Материалы 5-ой Международной научно-практической конференции: «Опыт прошлого – взгляд в будущее» Тула: Издательство ТулГУ, - 2015, - С. 670-674.

74. Сулин, А.Б. Индексы теплового комфорта: Учеб.-метод. пособие / А.Б. Сулин, Т.В. Рябова, А.К. Рубцов, А.А. Никитин // СПб.: Университет ИТМО, -2016. – 36 с.

75. Сухарев, М.И. Приборы для определения теплофизических свойств текстильных материалов / М.И.Сухарев, Ю.А.Хазе //ТЛП, -т. 13, -№5, -1970, -С. 29-33.

76. Тарасов, В.И. Просто о непросто в использовании средств индивидуальной защиты / В.И. Тарасов, В.Е. Кошелев // Пермь: Стиль-МГ, 2007. -280 с.

77. Технический регламент Таможенного союза «О безопасности средств индивидуальной защиты»: ТР ТС 019/2011: текст с изменениями и дополнениями от 06.03.2018: издание официальное : утверждён решением комиссии таможенного союза от 9 декабря 2011 года N 878. – Москва, Стандартиформ, -2011, - 56 с.

78. Типовые нормы бесплатной выдачи специальной одежды, специальной обуви и других средств индивидуальной защиты работникам действующих и строящихся шахт, разрезов и организаций угольной и сланцевой промышленности, занятым на работах с вредными и (или) опасными условиями труда, а также выполняемых в особых температурных условиях или связанных с загрязнением : издание официальное : утверждены Приказом Минтруда России от 02.08.2013 № 341н / зарегистрирован Министерством юстиции Российской Федерации 12 декабря 2007 г. N 10683) – Москва, Стандартиформ, -2013, -42 с.

79. Фаустов, С.А. Снижение класса условий труда при использовании средств индивидуальной защиты в специальной оценке условий труда / С.А. Фаустов, В.В. Цаплин // В сборнике: Архитектура – Строительство – Транспорт

Материалы 71-й научной конференции профессоров, преподавателей, научных работников, инженеров и аспирантов университета. Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет. -2015. -С. 190-197.

80. Фаустов, С.А. Вероятностный поход к оценке эффективности средств индивидуальной защиты органов дыхания / С.А. Фаустов, Г.В. Леонтьев // Вестник МАНЭБ. -2015. -Т. 20. -№ 2. -С. 83-84.

81. Федорович, Г.В. Параметры микроклимата, обеспечивающие комфортные условия труда. // БиОТ - 2010 - №1 – 75 с.

82. Фомин, А.И., Актуальность разработки и совершенствования способа повышения безопасности работников на угледобывающих и углеперерабатывающих предприятиях Кузбасса / А.И. Фомин, Д.А. Бесперстов // Вестник Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. -2015. -№ 1. -С. 62-66.

83. Фомин, А.И., Исследование влияния угольной пыли на безопасность ведения горных работ / А.И. Фомин, Я.С. Ворошилов, Д.Ю. Палеев // «Горная промышленность». -2019. -№ 1 (143). -С. 33-36.

84. Фомин, А.И. Оценка тяжести трудового процесса работников угольных шахт экспресс-методом // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). - 2008.- №4. - С. 348-352. - URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-tyazhesti-trudovogo-protsesssa-rabotnikov-ugolnyh-shaht-ekspress-metodom> (дата обращения: 24.06.2019).

85. Хилько, В.Ф. Основы безопасности работников угольной промышленности от статического электричества / В.Ф. Хилько, И.Н. Паскарь // Инновационный конвент "Кузбасс: образование, наука, инновации" Материалы Инновационного конвента. Департамент молодежной политики и спорта Кемеровской области. -2019. -С. 72-83.

86. Хусаинова, Р.Г. Оценка комфортности трудовой деятельности работниками горнодобывающего предприятия Севера / Р.Г. Хусаинова, С.М. Скударнов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). - 2013. - №2. - С. 348-352.

87. Чеботарёв, А.Г. Интегральная оценка условий труда горнорабочих при подземных работах // Бюллетень Научного Совета «Медико- биологические проблемы работающих», -№1. -2003, -С. 33–36.

88. Чеботарёв, А.Г. Характеристика шахтного аэрозоля и профессиональная лёгочная патология у рабочих высокомеханизированных шахт /А.Г. Чеботарёв, И.Ю. Габидулина // «Медицина труда и промэкология», - №7. -2009, - С. 7-12.

89. Шустов, Ю.С. Действия факторов изнашивания на воздухопроницаемость хлопчатобумажных тканей / Ю.С. Шустов, А.А. Михеев // Дизайн и технологии. -2010. - № 17 (59). -С. 127-134.

90. Bedford, Th. Basic Principles of Ventilation and Heating // London, -1948. -P. 320.

91. Fanger, P.O. Thermal Comfort // McGraw Hill -1970, P. 270.

92. Frontczak, M. Literature survey on how different factors influence human comfort in indoor environments /M. Frontczak, P. Wargocki // Build. Environ. -№46, -P. 922-937, -2011.

93. Hearle, J.W.S. On some general features of a computer-based system for calculation of the mechanics of textile structures / J.W.S. Hearle, M. Konopasek, A. Newton // Text. Res. J. r v.42, -№ 10, -1972, -P.613-626.

94. International standard. Moderate thermal environments - Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort. ISO 7730. Second edition. -2005.

95. Mandal, S. An Empirical Analysis of Thermal Protective Performance of Fabrics Used in Protective Clothing / S. Mandal, G. Song // The Annals of Occupational Hygiene, -Volume 58, Issue 8, -2014, -P.1065–1077.

96. Mosteller, R. D. Simplified Calculation of Body Surface Area // N Engl J Med. -1987. -№ 317(17):1098.

97. Rudakov, M.L. Validation of requirements to miner suit on the basis of human heat exchange at performance of underground works / G.I. Korshunov, M.L. Rudakov, L.V. Stepanova //Pollution Research, - 2016. -Vol. 35, Issue 4, -P.: 919-

922.

98. Sidakov, I.F. Human thermal comfort in miner's overalls / I.F. Sidakov, L.V. Stepanova, A.N. Nikulin, A.Y. Nikulina // Conference Proceedings «International Scientific Conference «Earth in Trap? Analytical Methods in Fire and Environmental Science». Technical University in Zvolen, Zvolen, Slovak Republic, -2017, -P.201-207.

99. Ronaldo André Castelo dos S. de Almeida Thermal comfort and personal protective equipment (PPE) / Ronaldo André Castelo dos S. de Almeida, Marcelo Motta Veiga, Francisco José de Castro Moura Duarte, Luiz Antônio Meirelles, Lilian Bechara Elabras Veiga // Work. -2012; -41 (Suppl 1): 4979–4982. doi: 10.3233/WOR-2012-0042-4979.

100. Vigelina, O.A. Research of Fabric Air Permeability for Miner's Overalls / O.A. Vigelina, I.V. Andreeva, L.V. Stepanova, A.N. Nikulin, A.Y. Nikulina // Conference Proceedings «International Scientific Conference «Earth in Trap? Analytical Methods in Fire and Environmental Science». Technical University in Zvolen, Zvolen, Slovak Republic, -2017, -P.264-270.

101. Weihong Chen // The Annals of Occupational Hygiene. -2009, -Vol. 53, -№ 3. -P. 297-305.

## Приложение А. Элемент программы для расчёта показателя теплового комфорта (PMV) на языке программирования Python3

pmv : Predicted mean vote

```
def comfPMV(ta, tr, vel, rh, met, clo, wme):
```

```
    """
```

```
    returns [pmv]
```

```
    ta, air temperature (C)
```

```
    tr, mean radiant temperature (C)
```

```
    vel, relative air velocity (m/s)
```

```
    rh, relative humidity (%) Used only this way to input humidity level
```

```
    met, metabolic rate (met)
```

```
    clo, clothing (clo)
```

```
    wme, external work, normally around 0 (met)
```

```
    """
```

```
    pa = rh * 10 * math.exp(16.6536 - 4030.183 / (ta + 235))
```

```
    icl = 0.155 * clo # thermal insulation of the clothing in M2K/W
```

```
    m = met * 58.15 # metabolic rate in W/M2
```

```
    w = wme * 58.15 # external work in W/M2
```

```
    mw = m - w # internal heat production in the human body
```

```
    if (icl <= 0.078):
```

```
        fcl = 1 + (1.29 * icl)
```

```
    else:
```

```
        fcl = 1.05 + (0.645 * icl)
```

```
    # heat transf. coeff. by forced convection
```

```
    hcf = 12.1 * math.sqrt(vel)
```

```
    taa = ta + 273
```

```
    tra = tr + 273
```

```
    tcla = taa + (35.5 - ta) / (3.5 * icl + 0.1)
```

```
    p1 = icl * fcl
```

```
    p2 = p1 * 3.96
```

```
    p3 = p1 * 100
```

```
    p4 = p1 * taa
```

```
    p5 = (308.7 - 0.028 * mw) + (p2 * math.pow(tra / 100, 4))
```

```
    xn = tcla / 100
```

```
    xf = tcla / 50
```

```
    eps = 0.00015
```

```
    n = 0
```

```
    while abs(xn - xf) > eps:
```

```

xf = (xf + xn) / 2
hcn = 2.38 * math.pow(abs(100.0 * xf - taa), 0.25)
if (hcf > hcn):
    hc = hcf
else:
    hc = hcn
xn = (p5 + p4 * hc - p2 * math.pow(xf, 4)) / (100 + p3 * hc)
n += 1
if (n > 150):
    print 'Max iterations exceeded'
    return 1
tcl = 100 * xn - 273
# heat loss diff. through skin
hl1 = 3.05 * 0.001 * (5733 - (6.99 * mw) - pa)
# heat loss by sweating
if mw > 58.15:
    hl2 = 0.42 * (mw - 58.15)
else:
    hl2 = 0
# latent respiration heat loss
hl3 = 1.7 * 0.00001 * m * (5867 - pa)
# dry respiration heat loss
hl4 = 0.0014 * m * (34 - ta)
# heat loss by radiation
hl5 = 3.96 * fcl * (math.pow(xn, 4) - math.pow(tra / 100, 4))
# heat loss by convection
hl6 = fcl * hc * (tcl - ta)
ts = 0.303 * math.exp(-0.036 * m) + 0.028
pmv = ts * (mw - hl1 - hl2 - hl3 - hl4 - hl5 - hl6)
r.append(pmv)
return r

```

**Приложение В. Результаты экспериментального определения частоты  
сердечных сокращений подземного персонала угольной шахты с  
указанием выполняемой технологической операции**

Участок ведения работ	Профессия	Выполняемая операция	Вес, кг	Рост, см	Возраст, лет	ЧСС в состоянии покоя (HR <sub>0</sub> )	ЧСС при работе (HR <sub>1,2,..10</sub> )										Среднее значение ЧСС (HR)
							1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Участок добычи угля	Горный мастер	Контроль выполнения работы согласно наряду- допуску (передвижение пешком по горизонтально й выработке)	70	181	32	74	103	108	106	109	115	124	122	104	108	112	111,1
	Машинист горно- выемочных машин	Добыча угля комбайном	121	186	45	68	134	165	178	146	131	145	170	167	155	168	155,9
	Горнорабо- чий подземный	Зачистка выработки, контроль работы ленточного конвейера	72	173	33	74	145	140	138	155	162	158	154	149	145	162	150,8

	Профессия	Выполняемая операция	Вес, кг	Рост, см	Возраст, лет	ЧСС в состоянии покоя (HR <sub>0</sub> )	ЧСС при работе (HR <sub>1,2,..10</sub> )										Среднее значение ЧСС (HR)
							1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Участок ведения работ	Горнорабочий очистного забоя	Крепление лавы мех крепью, задвижка скребкового конвейера	75	176	26	70	120	135	141	132	130	140	125	124	134	118	129,9
	Горнорабочий по ремонту горных выработок	Ремонт и крепления горных выработок	82	175	35	75	150	148	162	175	176	164	158	164	155	156	160,8
	Электрослесарь подземный	Контроль работы механизмов и оборудования на участке (отсутствие физической активности)	73	173	36	78	72	76	82	80	75	70	74	76	78	78	76,1

Участок ведения работ	Профессия	Выполняемая операция	Вес, кг	Рост, см	Возраст, лет	ЧСС в состоянии покоя (HR <sub>0</sub> )	ЧСС при работе (HR <sub>1,2,..10</sub> )										Среднее значение ЧСС (HR)
							1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Участок проходческих работ	Проходчик	Обслуживание ленточного перегружателя, зачистка выработки	85	168	28	75	113	115	128	164	169	172	180	185	170	175	157,1
	Машинист горных выемочных машин	Проведение горной выработки комбайном, помощь при креплении	87	183	44	78	145	155	158	179	163	198	192	175	184	165	171,4
	Электрослесарь подземный	Контроль работы и обслуживания эл. аппаратуры, комбайна, конвейеров	90	181	45	80	124	125	128	130	136	132	125	145	120	111	127,6
	Машинист подземных установок	Зачистка выработки, контроль работы	87	179	29	69	70	89	125	124	136	182	164	136	124	112	126,2

	Профессия	Выполняемая операция	Вес, кг	Рост, см	Возраст, лет	ЧСС в состоянии покоя (HR <sub>0</sub> )	ЧСС при работе (HR <sub>1,2,..10</sub> )										Среднее значение ЧСС (HR)
							1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Участок ведения работ		ленточного конвейера															
	Горнорабочий подземный	Доставка материалов, оборудования до забоя, зачистка выработки, контроль работы ленточного конвейера	93	175	33	73	136	145	155	156	145	136	166	169	154	130	149,2
	Горный мастер	Контроль выполнения работы согласно наряду (передвижение пешком по горизонтальной выработке)	78	168	46	80	85	89	93	91	95	113	115	114	132	108	103,5

Участок ведения работ	Профессия	Выполняемая операция	Вес, кг	Рост, см	Возраст, лет	ЧСС в состоянии покоя (HR <sub>0</sub> )	ЧСС при работе (HR <sub>1,2,..10</sub> )										Среднее значение ЧСС (HR)
							1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Участок вентиляции и ТБ	Электрослесарь подземный	Обслуживание и ремонт п/п оборудования	98	193	38	77	80	96	112	117	115	106	123	130	125	114	111,8
	Горнорабочий по ремонту горных выработок	Подготовка выработки для возведения вентиляционного сооружения	93	180	33	75	78	96	115	126	140	156	154	135	125	171	129,6
	Горнорабочий подземный	Возведение вентиляционных сооружений	99	184	35	69	135	145	168	132	115	116	145	138	150	158	140,2
Участок внутришахтного транспорта	Горнорабочий подземный	Доставка материалов, помощь машинистам самоходных машин (дизелевоза)	87	178	34	81	160	164	150	178	134	160	174	150	134	164	156,8

	Профессия	Выполняемая операция	Вес, кг	Рост, см	Возраст, лет	ЧСС в состоянии покоя (HR <sub>0</sub> )	ЧСС при работе (HR <sub>1,2,..10</sub> )										Среднее значение ЧСС (HR)
							1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Участок ведения работ	Машинист подземных установок	Зачистка выработки, контроль работы ленточного конвейера	89	177	38	74	134	135	137	158	120	125	167	130	115	107	132,8
	Машинист подземных самоходных машин	Доставка материалов и людей	90	198	40	76	105	101	110	105	107	115	116	95	97	90	104,1
	Горнорабочий по ремонту горных выработок	Ремонт монорельсовой дороги	92	169	36	72	102	124	134	106	108	119	115	142	110	105	116,5
Участок монтажа и Демонтажа оборудования	Горнорабочий очистного забоя	Демонтаж противопожарного трубопровода, демонтаж ленточного	75	183	39	79	109	160	145	164	170	165	145	138	145	158	149,9

Участок ведения работ	Профессия	Выполняемая операция	Вес, кг	Рост, см	Возраст, лет	ЧСС в состоянии покоя (HR <sub>0</sub> )	ЧСС при работе (HR <sub>1,2,..10</sub> )										Среднее значение ЧСС (HR)
							1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
		конвейера															
	Горномонтажник подземный	монтаж демонтаж оборудования	76	173	41	77	124	136	138	136	145	124	154	134	136	142	136,9
	Горнорабочий подземный	Доставка материалов, оборудования до забоя, зачистка выработки,	78	170	48	75	145	163	170	154	156	153	168	169	175	130	158,3
	Электрослесарь подземный	Ревизия и ремонт оборудования и механизмов на участке	89	190	55	74	88	89	101	105	109	101	103	108	95	91	99

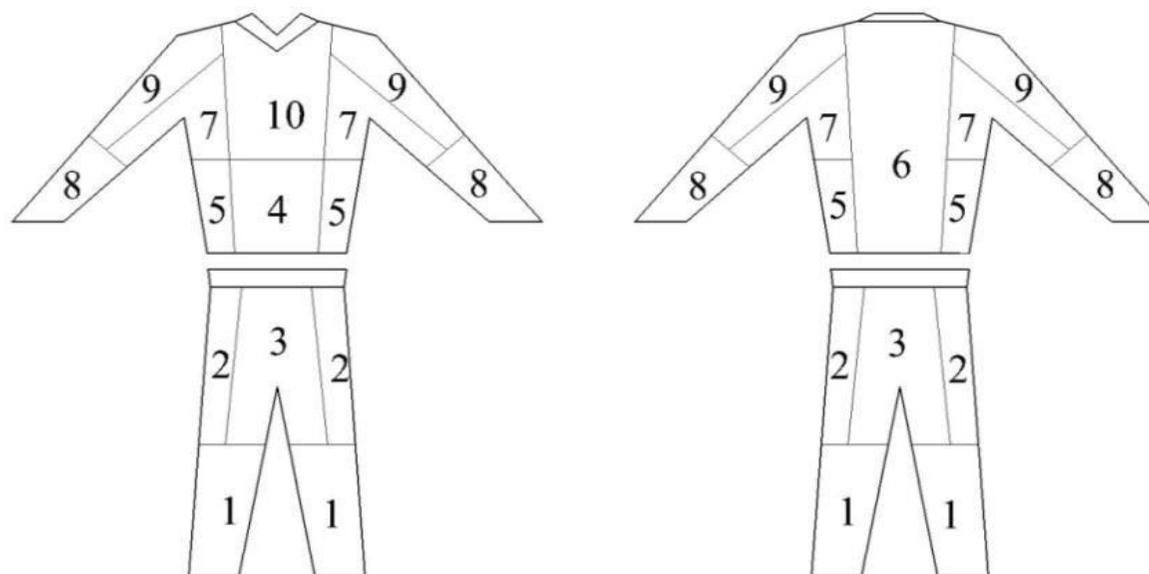
**Приложение В. Результаты экспериментального определения средней  
плотности загрязнения комплекта средства индивидуальной защиты  
(шахтёрский костюм, состоящий из куртки и брюк) после одной рабочей  
смены**

Участок ведения работ	Профессия	№ образца	Инвентарный номер СИЗ	Масса чистого СИЗ, г	Масса загрязненного СИЗ (после сушки)	Масса угольной пыли на СИЗ, г	Среднее значение массы угольной пыли на СИЗ, г
Участок проходческих работ	Проходчик	Образец 1	3979	2037	2352	315	312
		Образец 2	3456	2168	2485	317	
		Образец 3	3786	2030	2333	303	
	Машинист горно- выемочных машин	Образец 4	3267	2140	2555	415	398
		Образец 5	3165	2515	2914	399	
		Образец 6	3876	2703	3083	380	
	Горнорабочий подземный	Образец 7	3554	2036	2320	284	317
		Образец 8	3212	1999	2320	321	
		Образец 9	3854	2068	2415	347	
	Горный мастер	Образец 10	3987	2145	2251	106	112

<b>Участок ведения работ</b>	<b>Профессия</b>	<b>№ образца</b>	<b>Инвентарный номер СИЗ</b>	<b>Масса чистого СИЗ, г</b>	<b>Масса загрязненного СИЗ (после сушки)</b>	<b>Масса угольной пыли на СИЗ, г</b>	<b>Среднее значение массы угольной пыли на СИЗ, г</b>
		Образец 11	3654	2201	2302	101	
		Образец 12	3125	2147	2275	128	
	Электрослесарь подземный	Образец 13	3874	2164	2374	210	249
		Образец 14	3963	2039	2313	274	
		Образец 15	3908	2054	2316	262	
Участок добычи угля	ГРОЗ	Образец 16	3452	2030	2390	360	323
		Образец 17	3145	2005	2347	342	
		Образец 18	3912	2130	2398	268	
	Машинист горно-выемочных машин	Образец 19	3915	2089	2504	415	429
		Образец 20	3098	1998	2438	440	
		Образец 21	3008	2096	2528	432	
	Горнорабочий	Образец 22	3542	2038	2418	380	380

<b>Участок ведения работ</b>	<b>Профессия</b>	<b>№ образца</b>	<b>Инвентарный номер СИЗ</b>	<b>Масса чистого СИЗ, г</b>	<b>Масса загрязненного СИЗ (после сушки)</b>	<b>Масса угольной пыли на СИЗ, г</b>	<b>Среднее значение массы угольной пыли на СИЗ, г</b>
	подземный	Образец 23	3998	2017	2379	362	
		Образец 24	3322	2064	2462	398	
	Горный мастер	Образец 25	3765	2091	2171	80	103
		Образец 26	3781	2078	2192	114	
		Образец 27	3128	2111	2227	116	
	Электрослесарь подземный	Образец 28	3994	2013	2323	310	292
		Образец 29	3745	2034	2322	288	
		Образец 30	3766	2066	2344	278	

Схема разделения средства индивидуальной защиты на участки для определения их степени загрязнения



Цвет	Степень загрязнения
	Незначительное загрязнение участка СИЗ
	Среднее загрязнение участка СИЗ
	Сильное загрязнение участка СИЗ

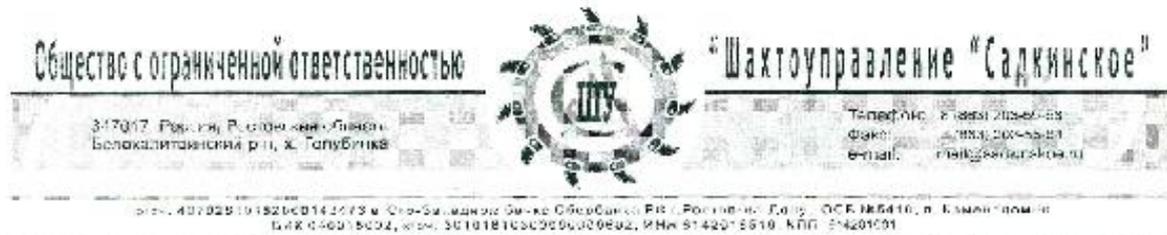
Участок ведения работ	Профессия	Номер образца	Инвен- тарный номер СИЗ	Степень загрязнения участка СИЗ											
				1	2	3.1	3.2	4	5	6	7	8	9	10	
Участок проходческ их работ	Проходчик	Образец 1	3979												
		Образец 2	3456												
		Образец 3	3632												
		Образец 4	3845												
		Образец 5	3647												
		Образец 6	3786												
	МГВМ (УПР)	Образец 7	3267												
		Образец 8	3981												
		Образец 9	3217												
		Образец 10	3165												
		Образец 11	3971												
		Образец 12	3876												
	ГРП (УПР)	Образец 13	3554												
		Образец 14	3024												
		Образец 15	3212												
		Образец 16	3025												

	Профессия	Номер образца	Инвентарный номер СИЗ	Степень загрязнения участка СИЗ											
				1	2	3.1	3.2	4	5	6	7	8	9	10	
Участок ведения работ	Профессия	Образец 17	3028	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
		Образец 18	3854	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
		Образец 19	3987	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
	Горный мастер (УПР)	Образец 20	3032	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
		Образец 21	3065	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
		Образец 22	3470	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
		Образец 23	3654	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
		Образец 24	3125	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
		Электро-слесарь подземный (УПР)	Образец 25	3874	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
			Образец 26	3325	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Образец 27	3368		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		
Образец 28	3975		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		
Образец 29	3963		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		
Образец 30	3908		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		
Участок добычи угля	ГРОЗ	Образец 31	3452	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		
		Образец 32	3321	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		
		Образец 33	3368	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		

		Номер образца	Инвентарный номер СИЗ	Степень загрязнения участка СИЗ															
				1	2	3.1	3.2	4	5	6	7	8	9	10					
Участок ведения работ	Профессия	Образец 34	3354																
		Образец 35	3145																
		Образец 36	3912																
	МГВМ	Образец 37	3915																
		Образец 38	3176																
		Образец 39	3564																
		Образец 40	3854																
		Образец 41	3098																
		Образец 42	3008																
		Образец 43	3542																
	ГРП	Образец 44	3010																
		Образец 45	3777																
		Образец 46	3268																
		Образец 47	3998																
		Образец 48	3322																
	Горный мастер	Образец 49	3765																
		Образец 50	3541																

		Номер образца	Инвентарный номер СИЗ	Степень загрязнения участка СИЗ										
				1	2	3.1	3.2	4	5	6	7	8	9	10
Участок ведения работ	Профессия	Образец 51	3654	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
		Образец 52	3592	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
		Образец 53	3781	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
		Образец 54	3128	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	Электрослесарь подземный	Образец 55	3994	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
		Образец 56	3741	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
		Образец 57	3697	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
		Образец 58	3254	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
		Образец 59	3745	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
		Образец 60	3766	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

## Приложение Д. Акт об использовании результатов диссертационного исследования в ООО «Шахтоуправление «Садкинское»



№ 07/61 от 27.06.2019

### АКТ об использовании результатов диссертационной работы Степановой Людмилы Викторовны в ООО «Шахтоуправление «Садкинское»

Диссертационная работа на соискание степени кандидата технических наук Степановой Л.В. была направлена на обеспечение теплового комфорта подземного персонала угольных шахт. К наиболее существенным результатам исследования относятся:

— выявление взаимосвязи теплового комфорта работников с применяемыми средствами индивидуальной защиты;

— исследование влияния загрязнения средств индивидуальной защиты работников на тепловой комфорт;

— разработка предложений по изменению конструкции средств индивидуальной защиты от общих производственных загрязнений.

Результаты, полученные Л.В. Степановой, являются актуальными и использованы в практической деятельности по охране труда ООО «Шахтоуправление «Садкинское» в части касающейся выдачи средств индивидуальной защиты:

- внесены требования к стирке средств индивидуальной защиты после каждой смены;
- пересмотрен порядок выдачи средств индивидуальной защиты;

— в деятельности службы охраны труда определены новые функции по контролю за выдачей средств индивидуальной защиты, соответствующих условиям труда работников, что в целом повысило безопасность и комфортность труда подземного персонала шахты.

В перспективе модернизации существующего подхода на уровне законодательства и реализации мер безопасности посредством перехода от предоставления средств индивидуальной защиты в зависимости от наименования профессии занятого на конкретном рабочем месте работника (списочный подход) к обеспечению средствами индивидуальной защиты в зависимости от имеющихся на рабочем месте вредных производственных факторов предлагается использовать предложенные Л.В. Степановой конструкции средств индивидуальной защиты.

Директор

Ю.В. Зусев

Главный инженер

О.А. Агафонов

Заместитель главного инженера по ТБ

А.В. Деншев

