

На правах рукописи

СТЕПАНОВА Людмила Викторовна



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

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

**Автореферат
диссертации на соискание ученой степени кандидата
технических наук**

Санкт-Петербург - 2019

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет»

Научный руководитель:

доктор технических наук, профессор

Рудаков Марат Леонидович

Официальные оппоненты:

Фомин Анатолий Иосифович

доктор технических наук, доцент, Акционерное общество «Научный центр ВостНИИ по промышленной и экологической безопасности в горной отрасли», ведущий научный сотрудник

Сазонова Анна Михайловна

кандидат технических наук, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», доцент кафедры «Техносферная и экологическая безопасность»

Ведущая организация - федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева»

Защита диссертации состоится 24 декабря 2019 г. в 15 ч 00 мин на заседании диссертационного совета ГУ 212.224.09 при Горном университете по адресу: 199106, Санкт-Петербург, 21-я линия, дом 2, ауд. № 1171а.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Горного университета и на сайте www.spmi.ru

Автореферат разослан 24 октября 2019 г.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ
диссертационного совета



КОВАЛЬСКИЙ
Евгений Ростиславович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

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 подземных горных работ и отражена в работах

С.Г. Гендлера, Ю.Д. Дядькина, Б.П. Казакова, Ю.В. Шувалова. Вопросам обеспечения теплового комфорта за счёт проектирования средств индивидуальной защиты посвящены работы Р.Ф. Афанасьевой, П.П. Кокеткина, Ю.Г. Сорокина, Т.В. Гузиной, 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 А. Barton, О. Edholm, К. 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 16 всероссийских и международных конференциях;

– 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, индексируемом международной базой данных SCOPUS, 2 – в издании, индексируемом 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.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении приведена общая характеристика работы, её актуальность, цель, идея, задачи, научная новизна, сформулированы основные защищаемые положения, практическая значимость и личный вклад автора.

В первой главе проведен анализ условий труда работников угольных шахт; определены критерии теплового комфорта; представлены основные требования к средствам индивидуальной защиты работников угольных шахт; выполнен обзор научных исследований по влиянию параметров средств индивидуальной защиты на тепловой комфорт работников; проанализированы существующие средства индивидуальной защиты, используемые для защиты от общих производственных загрязнений; определены задачи

исследования.

Во второй главе обосновано использование показателя *PMV* для оценки теплового комфорта работников с учётом средств индивидуальной защиты; определены категории труда по уровню энергозатрат для основных профессий подземного персонала угольных шахт на основе измерения частоты сердечных сокращений; определены зависимости теплового комфорта работников от категории труда по уровню энергозатрат; определен необходимый коэффициент теплоизоляции средств индивидуальной защиты для работников, относящихся к Па, Пб и Пв категории работ по уровню энергозатрат.

Третья глава посвящена оценке влияния загрязнения средств индивидуальной защиты угольной пылью на тепловой комфорт работника; определена средняя плотность загрязнения средств индивидуальной защиты работника после одной смены; экспериментально определены зависимости коэффициента теплопроводности и значения воздухопроницаемости материала от плотности его загрязнения угольной пылью; определено изменение теплового сопротивления комплекта средств индивидуальной защиты при их загрязнении; показано влияние загрязнения средств индивидуальной защиты на тепловой комфорт работника.

В четвертой главе проведена экспериментальная оценка топологии загрязнений средств индивидуальной защиты для основных профессий и участков выполнения работ; определены три основных типа загрязнения средств индивидуальной защиты; разработана конструкция средства индивидуальной защиты, обеспечивающая тепловой комфорт работников Пв категории труда по уровню энергозатрат.

В заключении обобщены результаты проведенных исследований.

Основные результаты исследования отражены в следующих защищаемых положениях:

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.

Тепловое состояние горнорабочего определяется комплексом

параметров микроклимата, уровнем физической активности и теплофизическими параметрами СИЗ от общих производственных загрязнений, поэтому для оценки теплового комфорта использовался показатель *PMV* (Predicted Mean Vote), позволяющий определить комплексное влияние уровня энергозатрат работника, коэффициент теплоизоляции СИЗ и параметры микроклимата.

Оценка теплового состояния осуществляется по 7-балльной шкале в диапазоне от -3 до +3, где значение -3 соответствует ощущению человеком холода, значение 0 отражает нейтральное ощущение, а значение +3 – ощущение жары (ГОСТ Р ИСО 7730–2009).

Показатель *PMV* учитывает энергозатраты работника, коэффициент теплоизоляции одежды, коэффициент площади поверхности одежды, температуру воздуха, скорость движения, влажность воздуха и другие параметры и рассчитывается согласно формулам (1-4):

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

$$t_{cl} = 35,7 - 0,028(M - W) - I_{cl} - \{3,96 \cdot 10^{-8} f_{cl} [(\bar{t}_r + 273)^4] + f_{cl} h_c (t_{cl} - t_a)\}, \quad (2)$$

$$h_c = \begin{cases} 2,38 |t_{cl} - t_a|^{0,25}, & \text{если } 2,38 |t_{cl} - t_a|^{0,25} > 12,1 \sqrt{v_{ar}}, \\ 12,1 \sqrt{v_{ar}}, & \text{если } 2,38 |t_{cl} - t_a|^{0,25} < 12,1 \sqrt{v_{ar}}, \end{cases} \quad (3)$$

$$f_{cl} = \begin{cases} 1,00 + 1,290 I_{cl}, & \text{если } I_{cl} \leq 0,078 \text{ м}^2\text{К/Вт}, \\ 1,05 + 1,645 I_{cl}, & \text{если } I_{cl} > 0,078 \text{ м}^2\text{К/Вт}, \end{cases} \quad (4)$$

где M - скорость обмена веществ, Вт/м²; W - эффективная механическая энергия, Вт/м²; I_{cl} - коэффициент теплоизоляции одежды, м²·К/Вт; f_{cl} - коэффициент площади поверхности одежды; t_a - температура воздуха, °С; \bar{t}_r - средняя температура излучения,

$^{\circ}\text{C}$; v_{ar} - скорость движения воздуха, м/с; p_a - парциальное давление водяного пара, Па; h_c - коэффициент конвективного теплообмена, Вт/(м²·К); t_{cl} - температура поверхности одежды, $^{\circ}\text{C}$.

Энергетические затраты человека при мышечной нагрузке определяется скоростью обмена веществ, для оценки которой был использован метод интегрирования частоты сердечных сокращений HR (по методике ГОСТ Р ИСО 8996-2008). Связь между частотой сердечных сокращений HR и скоростью обмена веществ имеет вид:

$$HR = HR_0 + RM(M - M_0), \quad (5)$$

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·м²; M_0 - скорость обмена веществ в состоянии отдыха, Вт·м².

В рамках исследования на нескольких угольных шахтах было проведено анкетирование подземного персонала по вопросам, связанным с тепловым комфортом и причинами неприменения средств индивидуальной защиты, а также определены фактические энергозатраты работников. Принимали участие работники следующих профессий: проходчик, машинист горно-выемочных машин, горнорабочий очистного забоя, горнорабочий подземный, электрослесарь подземный, горнорабочий по ремонту горных выработок и горный мастер. Возрастной диапазон участников исследования составлял от 23 до 55 лет. Пол работников – мужской. В рамках определения уровня энергозатрат фиксировалась частота сердечных сокращений в покое и при выполнении основных рабочих операций, а также рост, вес и возраст каждого работника.

Согласно проведенным исследованиям, более половины работников угольных шахт полностью или частично не используют полный комплект СИЗ от общих производственных загрязнений. Одной из основных причин неиспользования СИЗ является нарушение теплового комфорта работников (рисунок 1).

Для определения показателя PMV была использована расчетная программа для анализа параметров микроклимата, позволяющая вычислять составляющие теплового баланса и показатель теплового комфорта в соответствии с ГОСТ Р ИСО 7730–2009. Параметры микроклимата принимались индивидуально для

каждого рабочего места, согласно результатам специальной оценки условий труда и данных производственного контроля.

В результате расчёта был определен показатель теплового комфорта PMV подземного персонала угольных шахт при категории работы по уровню энергозатрат Па, Пб и Ш (рисунок 2). Для практического использования полученного результата предлагается использовать линейную аппроксимацию вида:

$$PMV = 0,0126 M - 0,9641 (R^2=0,92), \quad (6)$$

Группа работников, работа которых относится к Ш категории работ по уровню энергозатрат (более 250 ккал/ч или более 290 Вт) испытывают сильный тепловой дискомфорт. Группа работников, относящиеся ко Пб категории работ по уровню энергозатрат (201-250 ккал/ч или 233-290 Вт) так же испытывает тепловой дискомфорт, оцениваемый значениями от 2 до 3 баллов. Для группы работников, относящиеся ко Па категории работ по уровню энергозатрат (151-200 ккал/ч или 175-232 Вт) при использовании аналогичных СИЗ уровень теплового комфорта оценивается значениями от 1,5 до 2 баллов при тех же условиях микроклимата.

Для определения параметров необходимых средств индивидуальной защиты от общих производственных загрязнений из формул (1-4) был выражен и рассчитан коэффициент теплоизоляции комплекта СИЗ для обеспечения теплового комфорта подземного персонала шахты (рисунок 3).

Из расчётов следует, что для обеспечения теплового комфорта работников Ш категории работ по уровню энергозатрат коэффициент теплоизоляции комплекта СИЗ должен составлять не более 0,6 clo, т.е. в два раза меньше, чем работники используют сейчас (1,2 clo). Для обеспечения теплового комфорта работников категории работ по уровню энергозатрат Пб необходимо выбирать комплект СИЗ коэффициент теплоизоляции, которого не превышает 0,7 clo. Для работников Па категории работ по уровню энергозатрат следует выбирать СИЗ с коэффициентом теплоизоляции до 0,9 clo.

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. Показатель теплового комфорта подземного персонала угольных шахт следует оценивать с учётом изменения теплофизических параметров средств индивидуальной защиты при их загрязнении угольной пылью.

Тепловое состояние работников угольных шахт формируется под действием процессов теплопродукции в организме и процессов рассеивания тепла через комплект средств индивидуальной защиты (нательное бельё и шахтерский костюм) в окружающую среду. Интенсивность рассеивания тепла через комплект СИЗ непосредственно связано с коэффициентом его теплоизоляции, который может изменяться при загрязнении СИЗ угольной пылью. Для определения влияния загрязнения угольной пылью на коэффициент теплоизоляции комплекта СИЗ была предложена схема комплекта СИЗ, состоящая из нательного белья и средства индивидуальной защиты (таблица 1), с учетом воздушных прослоек (рисунок 4). Для расчёта был принят стационарный режим теплообмена, ввиду отсутствия в условиях угольной шахты солнечного излучения, существенных перепадов температур, осадков и высоких скоростей движения воздуха.

Таблица 1 – 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 структуре комплекта СИЗ передача тепла осуществляется через волокна, составляющие материал, а также через воздушные микропрослойки в структуре материала и между слоями. С поверхности средства индивидуальной защиты тепло рассеивается в окружающую среду конвекцией. В связи с этим, коэффициент теплопроводности λ рассматривается как величина, учитывающая

структурную неоднородность волокнистого слоя и совместный радиационно-кондуктивный теплоперенос в нем. Известно, что суммарный процесс теплопередачи в материалах математически описывается законом Фурье, в данной работе под λ принимается коэффициент, который численно характеризует свойство материалов передавать тепловую энергию всеми перечисленными выше способами.

Для оценки теплофизических свойств СИЗ выбрана величина обратная коэффициенту теплопроводности, называемая тепловым сопротивлением.

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

$$R_{\text{сумм}} = R_{\text{н.б.}} + R_{\text{СИЗ}} + R_{\text{в1}} + R_{\text{в2}} + R_{\text{пов}}, \quad (7)$$

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, $\text{м}^2\text{°C/Вт}$; $R_{\text{пов}}$ - сопротивление теплоотдачи с поверхности СИЗ в окружающую среду, $\text{м}^2\text{°C/Вт}$.

Для одинарного слоя материала тепловое сопротивление $R_{\text{м}}$ определяется из формулы:

$$R_{\text{м}} = \frac{\delta}{\lambda}, \quad (8)$$

где δ - толщина материала, м; λ - коэффициент теплопроводности, $\text{Вт/м}\cdot\text{°C}$.

Исходя из этого уравнение (7) принимает вид:

$$R_{\text{сумм}} = \frac{\delta_{\text{н.б.}}}{\lambda_{\text{н.б.}}} + \frac{\delta_{\text{СИЗ}}}{\lambda_{\text{СИЗ}}} + \frac{\delta_{\text{в1}}}{\lambda_{\text{в}}} + \frac{\delta_{\text{в2}}}{\lambda_{\text{в}}} + \frac{1}{\alpha}, \quad (9)$$

где $\delta_{\text{н.б.}}$ - толщина слоя нательного белья, м; $\delta_{\text{СИЗ}}$ - толщина слоя средства индивидуальной защиты, м; $\delta_{\text{в1}}$ - толщина воздушной прослойки между телом человека и нательным бельём, м; $\delta_{\text{в2}}$ - толщина воздушной прослойки между нательным бельём и СИЗ, м; $\lambda_{\text{н.б.}}$ - коэффициент теплопроводности нательного белья, $\text{Вт/м}\cdot\text{°C}$; $\lambda_{\text{СИЗ}}$ - коэффициент теплопроводности средства индивидуальной защиты, $\text{Вт/м}\cdot\text{°C}$; $\lambda_{\text{в}}$ - коэффициент теплопроводности воздуха, $\text{Вт/м}\cdot\text{°C}$; α - коэффициент теплоотдачи, $\text{Вт/м}^2\text{°C}$.

Для численного решения уравнения (9) был осуществлен переход от коэффициента теплоизоляции I_{cl} к тепловому сопротивлению согласно следующему соотношению: $R = 0,155 I_{cl}$, $m^2 \cdot C / Bm$.

Коэффициент теплоотдачи α был определён исходя из критериальных уравнений М.А. Михеева для свободной конвекции около вертикальных пластин при ламинарном течении воздуха.

Так же было учтено, что на теплоизоляционные свойства оказывает влияние воздухопроницаемость материалов СИЗ от общих производственных загрязнений:

$$C = (0,075B + 2) U + 5, \quad (10)$$

где C - снижение средневзвешенного термического сопротивления одежды, %, B - воздухопроницаемость СИЗ $dm^3/(m \cdot c)$, U - скорость движения воздуха m/c .

Тепловое сопротивление воздушных прослоек было определено исходя из уравнения (9) на основе данных для отдельно взятого комплекта СИЗ.

Для экспериментальной оценки влияния загрязнения угольной пылью на теплофизические свойства СИЗ была определена фактическая плотность загрязнения средств индивидуальной защиты как отношение массы угольной пыли, попадающей на СИЗ в течение смены, к площади его поверхности.

Масса оседающей пыли определялась путём взвешивания сухого чистого средства индивидуальной защиты до начала рабочей смены и сушки и последующего взвешивания загрязненного СИЗ. Соответствующая средняя плотность загрязнения определялась делением массы угольной пыли на площадь поверхности СИЗ (рисунок 5).

Для полученных значений загрязнения на базе сертифицированных лабораторий с поверенным оборудованием были проведены экспериментальные исследования изменения коэффициента теплопроводности материала, используемого для изготовления СИЗ от общих производственных загрязнений (ткань ГОРИЗОНТ Т40) с различными плотностями загрязнения (рисунок 6), а также выявлено снижение воздухопроницаемости материалов при увеличении плотности их загрязнения (рисунок 7).

Согласно полученным результатам 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 использован показатель теплового комфорта PMV (рисунок 8).

В результате исследований 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:
$$PMV = 0,002П + 2,48 \quad (R^2 = 0,99), \quad (11)$$

– для категории работ Пб:
$$PMV = 0,0021П + 1,81 \quad (R^2 = 0,99), \quad (12)$$

– для категории работ Пв:
$$PMV = 0,002П + 2,83 \quad (R^2 = 0,98), \quad (13)$$

где П - плотность загрязнения СИЗ угольной пылью, г/м².

Таким образом, 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. 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.

Согласно результатам определения зависимости теплового комфорта работников от коэффициента теплоизоляции комплекта СИЗ (рисунок 3), для обеспечения теплового комфорта работников III категории работ по уровню энергозатрат коэффициент теплоизоляции комплекта СИЗ должен составлять не более 0,6 сло. На

основе применяемого СИЗ невозможно обеспечить указанный коэффициент теплоизоляции, поэтому необходима разработка новой конструкции СИЗ.

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. Было выявлено три наиболее часто встречающихся характера загрязнений для основных профессий горнорабочих и участков выполнения работ (рисунок 9).

Первая схема загрязнения (рисунок 9.1) характерна для следующих работников: МГВМ (добычной участок), ГРП (добычной участок, УПР), электрослесарь подземный (добычной участок, УПР). Вторая схема загрязнения (рисунок 9.2) характерна для следующих работников: проходчик (УПР), МГВМ (УПР), ГРОЗ (добычной участок). Третья схема загрязнения СИЗ характерна для работников, осуществляющих руководство выполнением работ (горный мастер) (рисунок 9.3).

На основе первой схемы загрязнения были подобраны материалы для изготовления СИЗ с различными поверхностными плотностями, соответствующие ГОСТ 11209-85, и определены их толщины по формуле:

$$\delta = 4,957 \cdot 10^{-3} \cdot G + 0,06, \quad (14)$$

где G – поверхностная плотность материала, $г/м^2$.

Для определения коэффициентов теплопроводности материалов использовались экспериментальные и справочные данные, на основе которых по формуле (8) были получены значения тепловых сопротивлений для каждого материала (таблица 2).

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 $200 \text{ мг}/\text{м}^3$, например, ткань ФАРМА LIGHT 150) составляет около 15% от общей площади поверхности и равна $S_I=0,28$

м². Площадь поверхности вставок из материала средней плотности (от 200 до 300 мг/м³, например, ткань АНТИСТАТ ЛАЙТ) составляет около 60% от общей площади поверхности и равна S₂=1,12 м². Площадь поверхности вставок из материала высокой плотности (свыше 350 мг/м³, обладающего IV классом защиты по пылепроницаемости, например, ткани ФАС (FAS)) составляет около 25% от общей площади поверхности и равна S₃=0,47 м².

Таблица 2 – Значение теплового сопротивления материалов, входящих в конструкцию предлагаемого СИЗ от общих производственных загрязнений

Название материала	ФАРМА LIGHT	АНТИСТАТ ЛАЙТ	ФАС (FAS)
Тепловое сопротивление, м ² ·°C/Вт	0,005	0,01	0,038

На основе полученных данных была разработана конструкция средства индивидуальной защиты, обеспечивающая тепловой комфорт работников III категории работ по уровню энергозатрат (рисунок 10).

Тепловое сопротивление СИЗ предлагаемой конструкции равно 0,032, а общее тепловое сопротивление комплекта СИЗ (с учётом нательного белья), рассчитанное по формуле 5, составляет 0,093 м²·°C/Вт, что соответствует 0,6 clo (рисунок 11). 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.

По результатам исследования были разработаны предложения по изменению корпоративных стандартов по охране труда угледобывающих компаний в части обеспечения работников средствами индивидуальной защиты: для обеспечения теплового комфорта работников III категории работ по уровню энергозатрат коэффициент теплоизоляции комплекта СИЗ должен составлять не более 0,6 clo, для обеспечения теплового комфорта работников

категории работ по уровню энергозатрат Пб необходимо выбирать комплект СИЗ коэффициент теплоизоляции которого не превышает 0,7 clo, для работников Па 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.

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:

1. 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.

2. 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.

3. Проведена экспериментальная оценка влияния загрязнения средств индивидуальной защиты угольной пылью на параметры, определяющие тепловой комфорт работника. Загрязнение СИЗ замедляет потери тепла работником и 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.

4. Определены показатели теплового комфорта подземного персонала угольных шахт при работе в загрязненных 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».

5. 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.

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

7. 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.

НАИБОЛЕЕ ЗНАЧИМЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

В изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки России:

1. 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»

2. 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»

3. 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»

4. 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

Публикации в международной базе цитирования Scopus:

1. 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.

Публикации в международной базе цитирования WoS:

1. 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, Pp.201-207.

2. 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, Pp.264-270.



Рисунок 1 - Результаты анкетирования подземного персонала угольных шахт

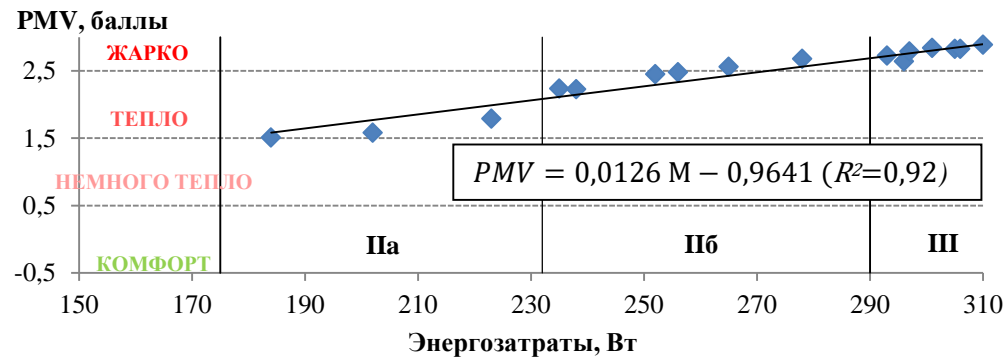


Рисунок 2 – График зависимости показателя теплового комфорта *PMV* работника от категории работ по уровню энергозатрат

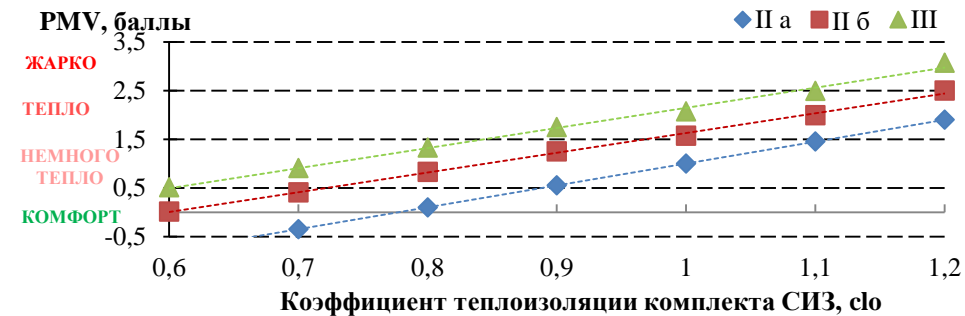


Рисунок 3 – График зависимости показателя теплового комфорта *PMV* работника от коэффициента теплоизоляции комплекта СИЗ

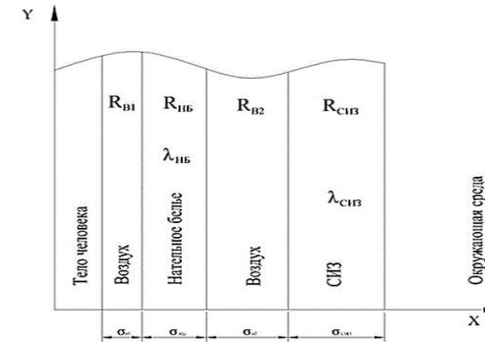


Рисунок 4 - Схема комплекта средств индивидуальной защиты подземного горнорабочего, $R_{н.б.}$ - тепловое сопротивление нательного белья, $m^2C/Вт$; $R_{сиз}$ - тепловое сопротивление средства индивидуальной защиты, $m^2C/Вт$; $R_{в1}$ - тепловое сопротивление воздушной прослойки между телом человека и нательным бельём, $m^2C/Вт$; $R_{в2}$ - тепловое сопротивление воздушной прослойки между нательным бельём и СИЗ, $m^2C/Вт$; $\lambda_{н.б.}$ - коэффициент теплопроводности нательного белья, $Вт/м^{\circ}C$; $\lambda_{сиз}$ - коэффициент теплопроводности СИЗ, $Вт/м^{\circ}C$

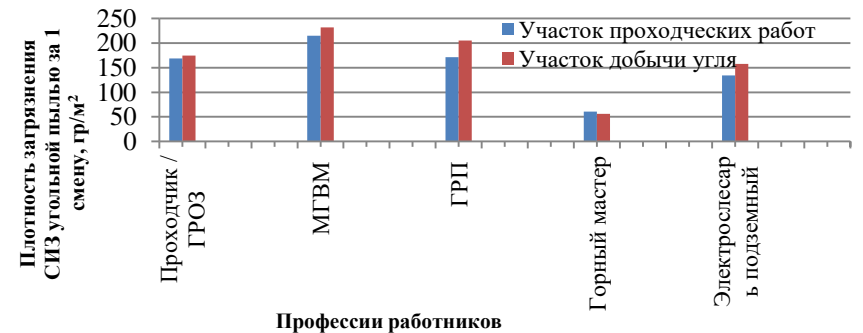


Рисунок 5 - Плотность загрязнения СИЗ подземного персонала угольной шахты за одну смену для различных профессий

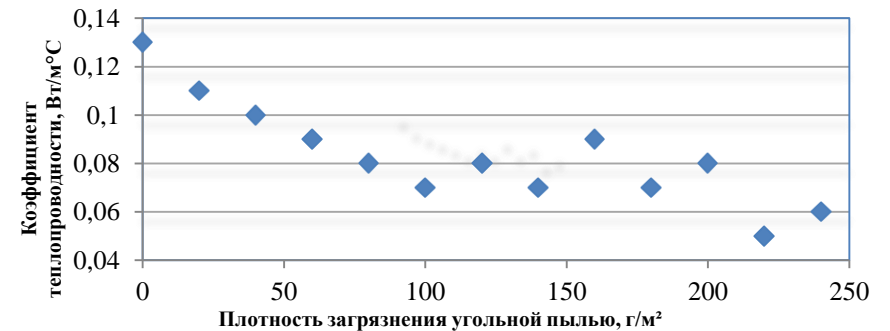


Рисунок 6 - Результаты экспериментального определения коэффициента теплопроводности материала, использующегося для изготовления СИЗ, от плотности загрязнения угольной пылью



Рисунок 7 - Результаты экспериментального определения воздухопроницаемости материала, используемого для изготовления СИЗ, от плотности загрязнения угольной пылью

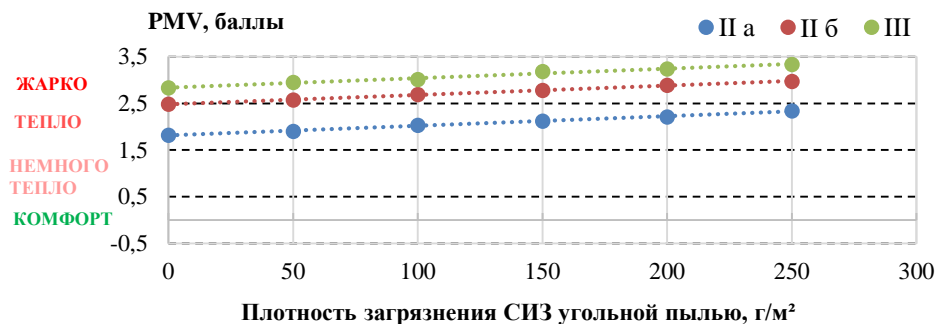


Рисунок 8 - Зависимость показателя теплового комфорта *PMV* работника от плотности загрязнения СИЗ угольной пылью

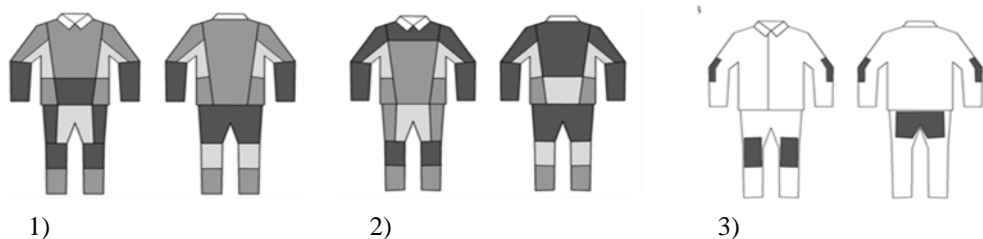


Рисунок 9 - Результаты определения топологии загрязнения средств индивидуальной защиты работников угольной пылью в течение одной смены

Цвет	Степень загрязнения
Светлый	Незначительное загрязнение участка СИЗ
Средний	Среднее загрязнение участка СИЗ
Темный	Сильное загрязнение участка СИЗ

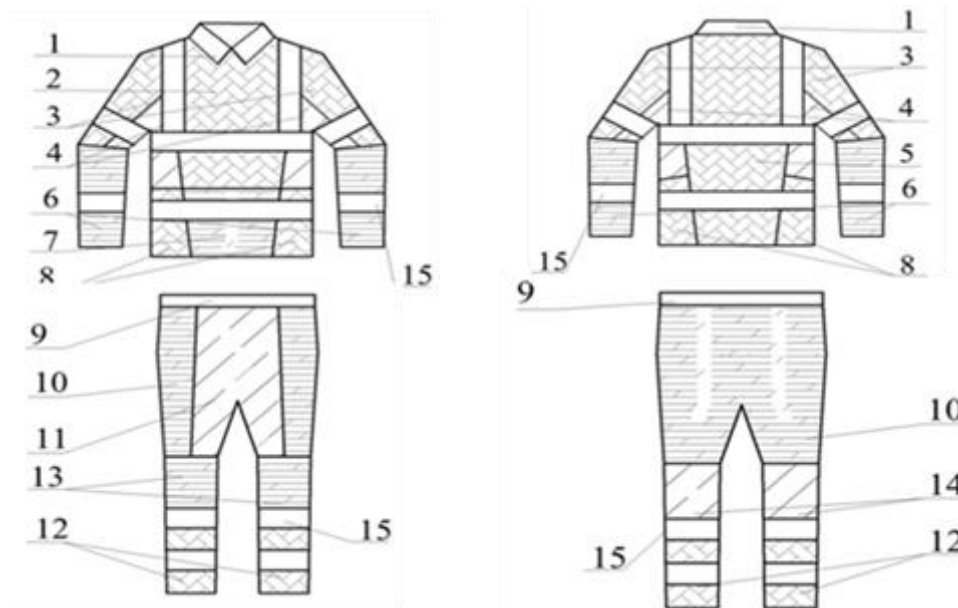
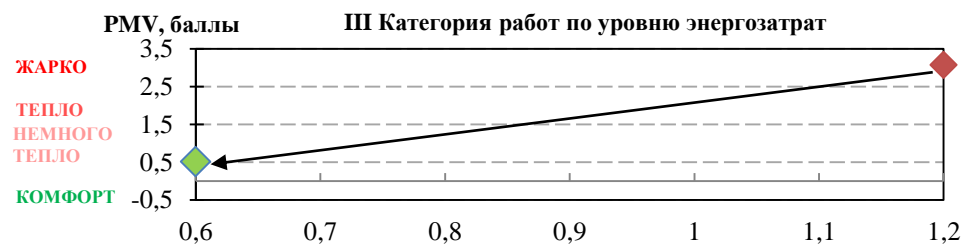


Рисунок 10 - Конструкция средства индивидуальной защиты от общих производственных загрязнений,

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.



Кoeffициент теплоизоляции одежды, clo

Рисунок 11 – Показатель теплового комфорта работников в СИЗ предлагаемой конструкции и применяемом СИЗ на данный момент