

На правах рукописи

КОРОБИЦЫНА Мария Александровна



**НОРМАЛИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ
МИКРОКЛИМАТА ЗА СЧЕТ СНИЖЕНИЯ
ТЕПЛОПОСТУПЛЕНИЙ ПРИ
ТРАНСПОРТИРОВКЕ НЕФТЕСОДЕРЖАЩЕЙ
ПРОДУКЦИИ В БУРОВЫХ ГАЛЕРЕЯХ
НЕФТЯНЫХ 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

Климова Ирина Викторовна

кандидат технических наук, Ухтинский государственный технический университет, кафедра промышленной безопасности и охраны окружающей среды, доцент

Ведущая организация – РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина

Защита диссертации состоится 24 декабря 2019 г. в 13 ч. 00 мин. на заседании диссертационного совета ГУ 212.224.09 при Санкт-Петербургском горном университете по адресу: 199106, Санкт-Петербург, 21-я линия В.О., дом 2, ауд. №1171а.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Санкт-Петербургского 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 исследования. Ведение горных работ в условиях повышенных температуры и влажности воздуха приводит к увеличению нагрузки на систему терморегуляции человека. Длительное воздействие нагревающего микроклимата способствует накоплению избыточной теплоты в организме работников, что негативно сказывается на работе центральной нервной и сердечно-сосудистой систем, является причиной ухудшения самочувствия, снижения внимания и работоспособности, и может оказаться причиной возникновения несчастного случая, в том числе с летальным исходом. Кроме того, воздействие нагревающего микроклимата снижает устойчивость организма к отрицательному воздействию других факторов.

Согласно результатам специальной оценки условий труда, условия труда работников, выполняющих подземные горные работы на нефтяных шахтах, определяются как вредные и относятся к классу 3.3 по параметрам микроклимата. При термошахтной разработке нефтяных месторождений формированию повышенной температуры и влажности воздуха в рабочих зонах способствует нагнетание горячего пара в нефтяной пласт для снижения вязкости и повышения подвижности нефти. Такая технология добычи определяет наличие в выработке ряда источников тепловыделения, вносящих вклад в формирование нагревающего микроклимата.

Вопрос, связанный с улучшением условий труда работников, ведущих горные работы на нефтяных шахтах, и снижением уровней профессиональных рисков, обусловленных воздействием нагревающего микроклимата, стоит достаточно остро. В настоящее время для нормализации условий труда по параметрам микроклимата применяется ряд мер, включающих различные способы проветривания, создание водяной завесы, теплоизоляция нефтепровода, применение средств индивидуальной защиты и регулирование режимов труда и отдыха. Ведутся исследования методов регулирования параметров микроклимата на нефтяных шахтах с помощью технологий теплоизоляции горного массива, применения закрытой системы сбора нефти, отдельного

проветривания уклонных блоков, а также с использованием холодильных машин.

Исследованиям условий труда на нефтяных шахтах посвящены работы А.Г. Бердника, А.Т. Волохиной, А.В. Николаева, Е.В. Нор, В.П. Перхуткина, В.П. Родака, Н.Д. Цхадая, в которых описаны вредные и опасные производственные факторы, источники нагревающего микроклимата и его воздействие на работников. Решению вопросов, связанных с регулированием теплового режима горных выработок, посвящены работы А.Ф. Галкина, С.Г. Гендлера, Ю.Д. Дядькина, Б.П. Казакова, О.А. Кремнева, Ю.В. Шувалова, А.Н. Щербаня. Вместе с тем, способы снижения тепlopоступлений одного из основных источников – добываемой разогретой нефтесодержащей продукции – изучены недостаточно. В этой связи актуальность темы исследования определяется необходимостью уменьшения тепловыделений от добываемой нефтесодержащей продукции для снижения температуры воздуха в рабочих зонах нефтяных шахт.

Цель работы. Снижение уровней профессиональных рисков работников, ведущих горных работы на нефтяных шахтах, на основе нормализации параметров микроклимата.

Идея работы. Обеспечение допустимых показателей микроклимата в рабочих зонах буровых галерей нефтяных шахт достигается на основе выбора рациональных параметров термоизолирующего средства коллективной защиты работников, снижающего тепlopоступления при транспортировке нефтесодержащей продукции.

Основные задачи исследования:

1. Анализ существующих способов нормализации параметров микроклимата в рабочих зонах при ведении горных работ на нефтяных шахтах.

2. Установление основных факторов, определяющих микроклиматические условия в выработках нефтяных шахт при подземно-поверхностной системе разработки.

3. Выбор способа снижения тепlopоступлений от разогретой нефтесодержащей продукции, транспортируемой открытым способом в буровой галерее.

4. Прогноз распределения температуры воздуха в рабочих зонах буровых галерей нефтяных шахт с применением термоизолирующего средства коллективной защиты работников.

5. Обоснование рациональных параметров термоизолирующего средства коллективной защиты работников, снижающего уровни профессиональных рисков, обусловленных воздействием нагревающего микроклимата.

Научная новизна:

- выявлены закономерности формирования нагревающего микроклимата в рабочих зонах нефтяных шахт в зависимости от продолжительности эксплуатации уклонного блока;

- установлена зависимость уровня профессионального риска, обусловленного нагревающим микроклиматом, от применения термоизолирующего средства коллективной защиты работников, снижающего теплоступления при транспортировке нефтесодержащей продукции.

Практическая и теоретическая значимость:

- предложен подход к выбору средств коллективной защиты работников от воздействия нагревающего микроклимата в зависимости от продолжительности эксплуатации уклонных блоков;

- обоснованы параметры термоизолирующего средства коллективной защиты работников от воздействия повышенных температур, позволяющие обеспечить нормативные значения температуры воздуха в рабочих зонах при ведении горных работ на нефтяных шахтах;

- разработан алгоритм для оценки риска перегрева работников нефтяных шахт, ведущих горные работы в условиях нагревающего микроклимата, учитывающий применение термоизоляции системы транспортировки нефтесодержащей продукции.

Основные защищаемые положения:

1. Основным фактором, влияющим на формирование нагревающего микроклимата в рабочих зонах буровых галерей, являются теплоступления при транспортировке нефтесодержащей продукции.

2. Снижение температуры воздуха в рабочих зонах буровых галерей достигается за счет применения термоизолирующего средства коллективной защиты, уменьшающего теплопоступления при транспортировке нефтесодержащей продукции.

3. Применение термоизолирующего покрытия системы транспортировки нефтесодержащей продукции в буровых галереях нефтяных шахт позволяет обеспечить снижение уровней профессиональных рисков на 20-40%.

Методы и методология исследования. В работе использован комплекс методов, включающий: анализ и обобщение результатов исследований параметров микроклимата и способов улучшения условий труда работников с помощью применения коллективных средств защиты от воздействия нагревающего микроклимата в горных выработках; математическое моделирование процессов формирования нагревающего микроклимата; экспериментальные исследования параметров нагревающего микроклимата.

Достоверность полученных результатов подтверждается значительным объемом изученной информации о способах нормализации условий труда по параметрам микроклимата при ведении подземных горных работ; применением специализированного программного комплекса *FlowVision* для математического моделирования; хорошей сходимостью полученных результатов с данными экспериментальных исследований; применением современного поверенного оборудования, соответствующего обязательным метрологическим требованиям; апробацией полученных результатов в научных изданиях.

Реализация результатов работы:

- разработана программа для ЭВМ «Программа для оценки риска перегревания работников нефтяных шахт с учетом использования термоизолирующих средств коллективной защиты» может быть использована в деятельности служб охраны труда на нефтяных шахтах ООО «ЛУКОЙЛ-Коми»;

- результаты и выводы, содержащиеся в работе, могут использоваться в программах высшего профессионального и

дополнительного профессионального образования, реализуемых Горным университетом.

Апробация результатов. Результаты исследований и основные положения научно-квалификационной работы (диссертации) докладывались и обсуждались на 8 всероссийских и международных конференциях, в том числе: Международной молодежной конференции «СЕВЕРГЕОЭКОТЕХ-2018» (Ухтинский государственный технический университет, г. Ухта, 2018, 2019 гг.); IV Международной научно-практической конференции "Промышленная безопасность предприятий минерально-сырьевого комплекса в XXI веке" (Санкт-Петербургский горный университет, г. Санкт-Петербург, 2018 г.); IV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Актуальные проблемы охраны труда» (Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, г. Санкт-Петербург, 2018 г.).

Результаты исследований также обсуждались на рабочих совещаниях ООО «ЛУКОЙЛ-Коми» по вопросам нормализации параметров микроклимата в рабочих зонах нефтяных шахт (2018, 2019 гг.).

Личный вклад автора. Сформулированы цели и задачи исследования; проведен анализ существующих способов нормализации параметров микроклимата в рабочих зонах при ведении горных работ на нефтяных шахтах; выявлены основные источники тепловыделений в горных выработках нефтяных шахт при использовании подземно-поверхностной системы разработки; определен вклад основных источников тепловыделений в формирование нагревающего микроклимата в рабочих зонах в зависимости от продолжительности эксплуатации уклонного блока; установлены распределения температуры воздуха в рабочих зонах буровых галерей нефтяных шахт; обоснован выбор параметров термоизолирующего средства коллективной защиты работников, снижающего тепlopоступления при транспортировке добываемой нефтесодержащей продукции.

Публикации. Основные результаты диссертационной работы содержатся в 8 опубликованных работах, в том числе 3 из

них – в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки России, 1 – в издании, индексируемом международной базой данных Scopus; получено 1 свидетельство на программу для ЭВМ.

Объем и структура работы. Диссертация состоит из введения, 4 глав и заключения, изложенных на 91 странице машинописного текста, содержит 20 рисунков, 10 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 представлены технологические особенности применяемых систем разработки нефтяных месторождений подземным способом; проведен анализ условий труда работников, ведущих горные работы на нефтяных шахтах; выполнен обзор научных исследований по способам улучшения условий труда работников по параметрам микроклимата в рабочих зонах нефтяных шахт; проанализированы применяемые методы нормализации параметров микроклимата.

Во второй главе установлены распределения температуры воздуха в рабочих зонах буровых галерей нефтяных шахт; приведены результаты анализа источников тепlopоступлений в буровых галереях с учетом продолжительности эксплуатации уклонного блока; выявлены основные источники тепловыделений, формирующие нагревающий микроклимат в рабочих зонах буровых галерей.

Третья глава посвящена математическому моделированию распределений температуры воздуха в рабочих зонах буровых галерей нефтяных шахт; выполнена верификация полученных результатов; определено необходимое снижение температуры поверхности термоизолирующего средства коллективной защиты, уменьшающего тепlopоступления при транспортировке нефтесодержащей продукции (НСП), и обоснованы его параметры.

В четвертой главе на основе полученных результатов разработан алгоритм расчета риска перегрева работников,

учитывающий изменение теплоступлений в зависимости от продолжительности эксплуатации уклонного блока и применения термоизолирующего средства коллективной защиты; приведены расчеты снижения уровней профессиональных рисков, обусловленных нагревающим микроклиматом в буровых галереях нефтяных шахт.

В заключении обобщены результаты проведенных исследований.

Основные результаты исследования отражены в следующих защищаемых положениях.

1. Основным фактором, влияющим на формирование нагревающего микроклимата в рабочих зонах буровых галерей, являются теплоступления при транспортировке нефтесодержащей продукции.

Нагревающий микроклимат в рабочих зонах нефтяных шахт формируется вследствие наличия источников тепловыделений, характерных для термошахтной разработки нефтяных месторождений. К ним относят: тепловыделения от оборудования и работающих людей, от арматуры добывающих скважин, а в большей степени от разогретого горного массива и от добываемой продукции. Подземно-поверхностная система разработки нефтяных месторождений характеризуется более медленным разогревом нижней части пласта относительно верхней (по мощности). Паронагнетательные скважины удалены от горных выработок, поэтому прогрев стенок буровой галереи занимает более длительное время, чем разогрев добываемой продукции. Все время эксплуатации добычного участка (уклонного блока) можно разделить на 3 стадии. Первая стадия (первые 2 года) – рост закачки пара, температуры пласта и добываемой продукции; вторая стадия (3-7 лет) – стабильная закачка пара, рост температуры пласта, незначительный рост температуры добываемой продукции; третья стадия (более 7 лет) – снижение закачки пара, незначительное уменьшение температуры добываемой продукции и пласта.

Проведенный анализ результатов предшествующих исследований показал, что температура основных источников тепловыделений, формирующих нагревающий микроклимат в

рабочих зонах, зависит от продолжительности эксплуатации уклонного блока, что представлено на диаграмме (рисунок 1). Уже на первой стадии температура добываемой нефтесодержащей продукции превышает 80 °С, и после резкого роста значений не происходит значительного их уменьшения до конца эксплуатации. В этой связи можно сделать вывод о том, что добываемая нефтесодержащая продукция является постоянным источником тепловыделений, вносящим вклад в формирование нагревающего микроклимата, с начала эксплуатации уклонного блока.

Массив горных пород прогревается в течение первой и второй стадий эксплуатации, разогрев стенки выработки до установившегося значения в 40 °С происходит после семи лет эксплуатации. Такая особенность этого источника тепловыделений дает возможность принимать меры по снижению его влияния не с начала эксплуатации, а со второй стадии эксплуатации.

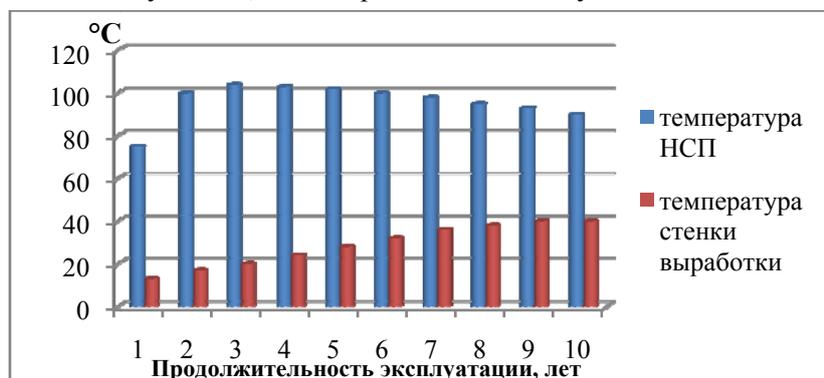


Рисунок 1 – Зависимость температур источников тепловыделений от продолжительности эксплуатации уклонного блока

Для дополнительного обоснования выбора средств коллективной защиты работников от воздействия нагревающего микроклимата проведены расчеты тепловых потоков от добываемой нефтесодержащей продукции и от горного массива к воздуху.

Тепловой поток от горного массива к воздуху рассчитывается по формуле

$$Q_{ст} = k_{\tau}[T_e - t(\tau)]S, \text{ Вт} \quad (1)$$

где T_e – естественная температура пород (в данном случае - сформировавшаяся температура пород стенки выработки), °C;

$t(t)$ – температура воздуха, °C;

S – площадь поперечного сечения выработки, м²;

k_τ – коэффициент нестационарного теплообмена между горным массивом и воздухом.

Тепловой поток от транспортируемой открытым способом нефтесодержащей продукции к воздуху рассчитывается по формуле

$$Q_{\text{нсп}} = S\alpha(t - t_e) + \beta r (p_n^{t_e} - \varphi_{\text{ср}} p_n^{t_1}), \text{ Вт} \quad (2)$$

S – площадь сечения выработки, м²; α – коэффициент теплоотдачи, Вт/(м²·°C); t и t_e – температура воды и температура воздуха, °C; $p_n^{t_e}$ и $p_n^{t_1}$ – парциальное давление насыщенных водяных паров в воздухе при температуре шахтной воды и при температуре воздуха в начале выработки Па; β – коэффициент массоотдачи, м/с; r – удельная теплота парообразования, Дж/кг.

В результате расчетов по приведенным формулам были получены значения тепловых потоков от системы открытой транспортировки нефтесодержащей продукции $Q_{\text{нсп}}$ и от разогретого горного массива $Q_{\text{ст}}$ к воздуху выработки на разных стадиях эксплуатации уклонного блока. Определено отношение $Q_{\text{нсп}}$ к $Q_{\text{ст}}$, отраженное на рисунке 2 и подчеркивающее преобладание количества тепловыделений от добываемой продукции на протяжении всего периода, но в большей степени в первые годы эксплуатации уклонного блока.

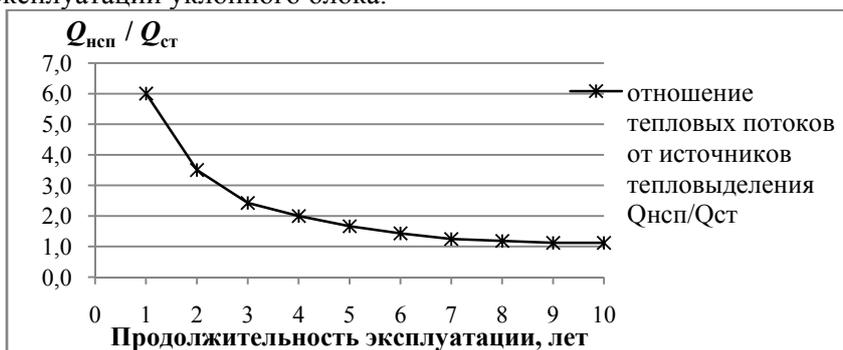


Рисунок 2 – График зависимости $Q_{\text{нсп}}/Q_{\text{ст}}$ от продолжительности эксплуатации уклонного блока

Нагревающий микроклимат в рабочих зонах буровых галерей нефтяных шахт формируется вследствие наличия источников тепловыделения, характерных для термошахтной разработки нефтяных месторождений. Начиная с первой стадии эксплуатации уклонного блока, основным источником является транспортируемая нефтесодержащая продукция. К концу эксплуатации тепловыделения от НСП и стенок выработки становятся соизмеримыми. Тепловыделения от оборудования, арматуры добывающих скважин и работающих людей можно считать пренебрежительно малыми в данных условиях.

Таким образом, для снижения температуры воздуха в рабочих зонах необходимо проведение мероприятий по уменьшению влияния основного источника тепловыделения – добываемой нефтесодержащей продукции.

2. Снижение температуры воздуха в рабочих зонах буровых галерей достигается за счет применения термоизолирующего средства коллективной защиты, уменьшающего теплопоступления при транспортировке нефтесодержащей продукции.

В целях установления существующего распределения температуры воздуха рабочих зон по длине выработок уклонного блока проведены экспериментальные исследования температуры в двух уклонных блоках. Замеры температуры воздуха производились последовательно, на разном расстоянии от вентиляционного ствола по ходу направления движения воздуха. Максимальные превышения температуры воздуха в рабочих зонах зарегистрированы на участке буровой галереи, где сосредоточены основные источники тепловыделений. В данных выработках могут проводиться горные работы сотрудниками участка ремонтно-восстановительных работ и внутришахтного транспорта. В структуру данного участка входят следующие должности: горнорабочий подземный, машинист электровоза шахтного, доставщик крепежных материалов в шахту, дорожно-путевой рабочий, крепильщик.

Для решения задачи распределения температуры воздуха в выработке использован численный метод расчета: метод контрольных объемов во временной области. Для моделирования

использованы данные, наиболее характерные для эксплуатируемого уклонного блока и предоставленные федеральным государственным бюджетным образовательным учреждением высшего образования «Ухтинский государственный технический университет» и Центром по нефтетитановому производству ООО «Лукойл-Инжиниринг» (таблица 1).

Таблица 1 – Исходные данные для моделирования распределения температуры воздуха в горных выработках нефтяных шахт

Параметр	Значение	Ед. изм.
Площадь сечения выработки	8,2	м ²
Температура поверхности стенки выработки	40	°С
Скорость движения воздуха	1	м/с
Температура воздуха на входе в выработку	25	°С
Давление	101,3	кПа
Диаметр канавки	0,5	м
Скорость движения НСП	0,1	м/с
Температура НСП	70	°С

Расчеты выполнены в программном комплексе *FlowVision*. Выбраны дифференциальные уравнения, заданы начальные и граничные условия, найдены массивы числовых данных в узлах разбиения расчетной области.

Геометрия расчетной области представляет собой участок горной выработки, в подошве которой проложена система открытой транспортировки нефтесодержащей продукции (рисунок 3). В математической модели решаются уравнения Навье-Стокса для движения воздуха; уравнение энергии для термодинамической энтальпии h , описывающее конвекцию и теплопроводность в воздухе; уравнения k - ϵ модели турбулентности.

С использованием программного комплекса по заданным исходным данным получены распределения температуры воздуха в рабочих зонах в двух галереях. Верификация результатов численного расчета показала хорошую сходимость с натурными измерениями (рисунок 4).

Согласно Федеральным нормам и правилам в области промышленной безопасности "Правила промышленной безопасности при разработке нефтяных месторождений шахтным

способом" (ФНП) в горных выработках, где нет постоянного присутствия людей, допускается температура воздуха до 36 °С. Основываясь на том, что работники, ведущие горные работы в эксплуатируемых уклонных блоках нефтяных шахт, не находятся в них постоянно в течение рабочей смены, оценка превышений значений температуры воздуха в рабочих зонах проводится на основе установленных ФНП величин. Исследования температуры воздуха в уклонных блоках показали превышения допустимых значений температуры воздуха в рабочих зонах на 5-8 °С.

Вычислительные эксперименты позволяют прогнозировать значения температуры воздуха в рабочих зонах буровых галерей нефтяных шахт в зависимости от заданных условий. Применение термоизолирующего средства коллективной защиты, снижающего теплопоступления при транспортировке нефтесодержащей продукции, по сравнению с системой открытой транспортировки существенно изменит вклад одного из основных источников тепловыделения в формирование нагревающего микроклимата, что отразится на снижении температуры воздуха в моделируемой выработке. Так, с помощью средств математического моделирования выполнен анализ изменения температуры воздуха в рабочих зонах при ведении горных работ в нефтяных шахтах для разных температур поверхности термоизолирующего средства коллективной защиты. Распределения температур воздуха в рабочих зонах без использования средства коллективной защиты и при температурах поверхности термоизоляции 60 °С, 50 °С, 40 °С и 30 °С отражены на рисунке 5. График показывает, что нормативные значения температуры воздуха в выработке достигаются при использовании теплоизолирующего материала, обеспечивающего температуру поверхности изоляции, не превышающую 40 °С.

Таким образом, для уменьшения воздействия повышенных температур воздуха на работников, ведущих горные работы на нефтяных шахтах, следует применять термоизолирующее средство коллективной защиты работников, снижающее теплопоступления при транспортировке нефтесодержащей продукции и обеспечивающее допустимые Федеральными нормами и правилами значения температуры воздуха в рабочих зонах.

3. Применение термоизолирующего покрытия системы транспортировки нефтесодержащей продукции в буровых галереях нефтяных шахт позволяет обеспечить снижение уровней профессиональных рисков на 20-40%.

С целью практической реализации полученных результатов разработан алгоритм, для оценки риска перегрева работников нефтяных шахт, ведущих горные работы в условиях нагревающего микроклимата, учитывающий продолжительность эксплуатации уклонного блока и применение термоизолирующего средства коллективной защиты, реализованный в программе для ЭВМ (рисунок 6).

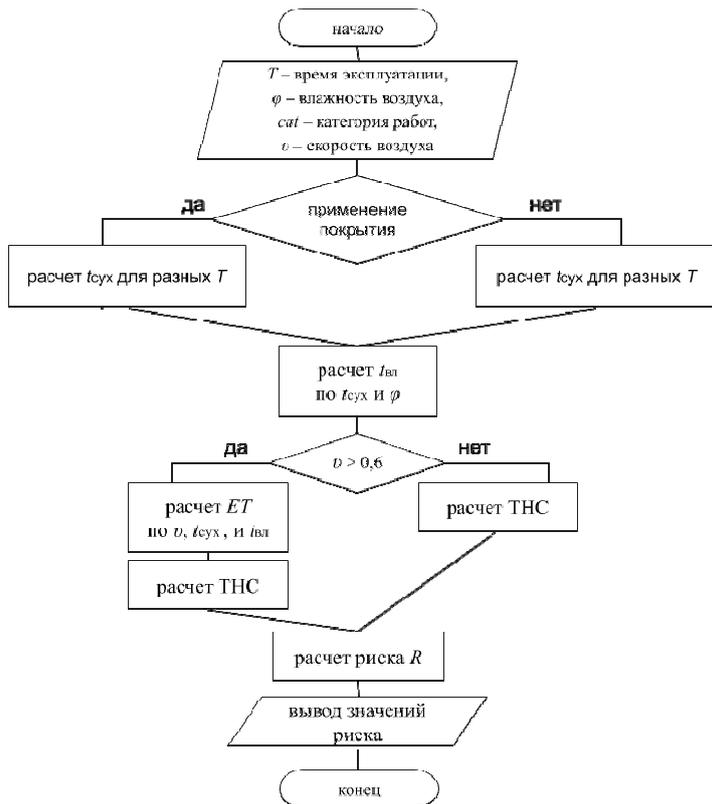


Рисунок 6 – Алгоритм для оценки риска перегрева работников нефтяных шахт (обозначения раскрыты в тексте)

Результаты расчета риска перегревания работников, полученные с помощью разработанного программного обеспечения, для разной продолжительности эксплуатации уклонного блока приведены на рисунке 7.

Оценка профессионального риска R , связанного с воздействием нагревающего микроклимата, вызывающего накопление тепла в организме работника более 4,0 кДж/кг, проводится по формуле:

$$R = f [Pr (D)] = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{Pr} e^{-\frac{t^2}{2}} dt \quad (3)$$

где Pr - пробит-функция, определяемая для разных категорий работ по энергозатратам, установленных в СанПиН 2.2.4.548-96, для Ia: $Pr = -37,230 + 11,112 \ln \text{ТНС}$; для IIa: $Pr = -33,716 + 10,337 \ln \text{ТНС}$; для IIб: $Pr = -30,198 + 9,366 \ln \text{ТНС}$; ТНС – индекс тепловой нагрузки среды, °С.

Для рабочих зон, в которых скорость движения воздуха не превышает 0,6 м/с, ТНС-индекс рассчитывается по формуле:

$$\text{ТНС} = 0,7 t_{\text{вл}} + 0,3 t_{\text{ш}}, \quad ^\circ\text{C} \quad (4)$$

где $t_{\text{вл}}$ – температура воздуха по влажному термометру, $t_{\text{ш}}$ – температура внутри черного шара.

Для рабочих зон, в которых скорость движения воздуха выше 0,6 м/с ТНС-индекс рассчитывается на основе значений эффективной температуры ET – интегрального показателя параметров нагревающего микроклимата, учитывающего различные скорости движения воздуха, (для работников, одетых в спецодежду с показателем $c_{\text{clo}} = 1$) по формуле:

$$\text{ТНС} = 1,12 ET - 3,93, \quad ^\circ\text{C} \quad (5)$$

Расчет по приведенному алгоритму показал, что применение термоизолирующего средства коллективной защиты, снижающего теплопоступления при транспортировке нефтесодержащей продукции уменьшает риск перегревания работников на 20-40% в зависимости от продолжительности эксплуатации уклонного блока. Проведение комплекса мероприятий, включающего увеличение скорости воздуха и применение термоизолирующего средства коллективной защиты, снизит риск перегрева на 53%.

Снижение уровней профессиональных рисков, обусловленных нагревающим микроклиматом в буровых галереях

нефтяных шахт, достигается путем применения термоизолирующего средства коллективной защиты, снижающего теплоступления при транспортировке нефтесодержащей продукции, температура поверхности которого не превышает 40 °С. Для определения параметров термоизолирующего средства коллективной защиты, обеспечивающего требуемую температуру поверхности, проведен расчет подходящей толщины и определение необходимого коэффициента теплопроводности изоляционного материала в соответствии с СП 61.13330.2012 Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов (актуализированная редакция СНиП 41-03-2003).

Результаты расчетов отражены на номограмме зависимости температуры поверхности изоляционного материала от его толщины и коэффициента теплопроводности (рисунок 8).

Одним из пожаробезопасных материалов изоляции, пригодных для использования в буровых галереях нефтяных шахт, характеризующихся агрессивной химической средой и повышенной влажностью, является пеностекло. Его отличительной особенностью является ячеистая структура с замкнутыми порами, что обеспечивает требуемую устойчивость к влаге и химическим веществам. Материал обладает высоким показателем прочности при сжатии и может использоваться без дополнительного покрытия сверху. Возможная конструкция термоизолирующего средства коллективной защиты, снижающего теплоступления при транспортировке нефтесодержащей продукции, представлена на рисунке 9. Для удобства эксплуатации предлагается использовать модули, устанавливаемые вплотную друг к другу и представляющие собой соединение металлического желоба с пеностеклом.

Результаты проведенных исследований распределения температуры воздуха в рабочих зонах буровых галерей нефтяных шахт в зависимости от толщины слоя пеностекла термоизолирующего средства коллективной защиты, представлены на рисунке 10.

Полученные результаты показали, что применение термоизолирующего средства коллективной защиты с коэффициентом теплопроводности не более 0,05 Вт/(м·°С) и толщиной не менее 0,1 м снижает температуру воздуха в рабочих

зонах при ведении горных работ на нефтяных шахтах до нормативных значений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой на основе прогноза распределения температуры воздуха в рабочих зонах решена актуальная задача выбора способа снижения теплопоступлений от разогретой нефтесодержащей продукции, транспортируемой открытым способом в буровых галереях нефтяных шахт, и обоснованы рациональные параметры средства коллективной защиты работников, обеспечивающие снижение уровня профессиональных рисков, обусловленных воздействием нагревающего микроклимата.

Основные научные и практические результаты подготовленной научно-квалификационной работы (диссертации) состоят в следующем:

1. На основе проведенного анализа существующих методов нормализации параметров микроклимата в рабочих зонах при ведении горных работ в нефтяных шахтах обоснована необходимость снижения теплопоступлений при транспортировке нефтесодержащей продукции в буровых галереях.

2. Установлены основные факторы, определяющие микроклиматические условия в выработках нефтяных шахт при подземно-поверхностной системе разработки, которые включают в себя продолжительность эксплуатации уклонного блока, температуру добываемой продукции и стенки выработки, скорость движения воздуха.

3. Осуществлен выбор способа снижения теплопоступлений от разогретой нефтесодержащей продукции, заключающийся в применении термоизолирующего покрытия системы открытой транспортировки добываемой продукции в буровой галерее.

4. Для оценки эффективности применения термоизолирующего средства коллективной защиты работников проведен прогноз распределения температуры воздуха в рабочих зонах буровых галерей нефтяных шахт, результаты которого показали, что использование материала, обеспечивающего

температуру поверхности изоляции 40 °С, позволяет достичь снижения температуры воздуха в рабочих зонах до допустимых значений.

5. Обоснованы рациональные параметры термоизолирующего средства коллективной защиты работников, снижающего теплопоступления при транспортировке нефтесодержащей продукции и обеспечивающие снижение уровня профессиональных рисков, обусловленных нагревающим микроклиматом.

Публикации по теме диссертации

В изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки России:

1. Рудаков, М.Л. О возможности нормализации температуры воздуха в буровых галереях нефтяных шахт / М.Л. Рудаков, **М.А. Коробицына** // Безопасность труда в промышленности. – 2019.– № 8– С. 66-71.

2. Дуркин, С.М. О возможности использования программы «FlowVision» для прогнозирования параметров нагревающего микроклимата в горных выработках нефтешахт / С.М. Дуркин, М.Л. Рудаков, Е.Г. Булдакова, **М.А. Коробицына** // Горный информационно-аналитический бюллетень: науч.-техн. журн. – 2019.– № 4; Спец. вып. 6.– С. 84-92.

3. Черкай, З.Н. Оценка сочетанного влияния вредных производственных факторов на здоровье и трудоспособность горнорабочих / З.Н. Черкай, **М.А. Коробицына** // Горный информационно-аналитический бюллетень: науч.-техн. журн. – 2015.– № 11; Спец. вып. 60-2.– С. 262-267.

В изданиях, индексированных в международной базе цитирования Scopus:

4. Influence of Environmental Technologies on the Economic Component in the Normalization of Thermal Conditions in Oil-Stores / Alabyev, V.R., Kruk, M.N., **Korobitcyna, M.A.**, Stepanov, I.S. // Journal of Environmental Management and Tourism. – 2018. – Vol. IX, 1(25). – P. 75-81.

В прочих изданиях:

5. Коробицына, М.А. Проблемы нормализации условий труда в нефтешахтах / М.А. Коробицына // Горное дело в XXI веке: технологии, наука, образование: Международная научно-практическая конференция, посвященная 185-летию кафедры «Горное искусство»: тезисы докладов (г. Санкт-Петербург, 18-20 октября 2017г.).– СПб, 2017.– С. 119.

6. Коробицына, М.А. Нормализация микроклимата на рабочих местах в горных выработках за счет использования теплотехнического метода регулирования теплового режима шахты / М.А. Коробицына // Совершенствование технологии горных работ и подготовка кадров для обеспечения техносферной безопасности в условиях Северо-Востока России: сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, (г. Якутск, 25 апреля 2018 г.).– Якутск, 2018.– С. 332-337.

7. Дуркин, С.М. Вопросы прогнозирования параметров нагревающего микроклимата в горных выработках нефтешахт с применением средств математического моделирования / С.М. Дуркин, М.Л. Рудаков, Е.Г. Булдакова, **М.А. Коробицына** // Промышленная безопасность предприятий минерально-сырьевого комплекса в XXI веке: Материалы IV Международной научно-практической конференции, (г. Санкт-Петербург, 25-26 октября 2018 г.).– СПб, 2018.– С. 33.

8. Рудаков, М.Л. Проектирование средств коллективной защиты работников от воздействия нагревающего микроклимата методами математического моделирования / М.Л. Рудаков, **М.А. Коробицына** // Актуальные проблемы охраны труда: Материалы IV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, (г. Санкт-Петербург, 22-23 ноября 2018 г.).– СПб, 2018.– С. 142-145.

Компьютерные программы:

9. Программа для ЭВМ Программа для оценки риска перегревания работников нефтяных шахт с учетом использования термоизолирующих средств коллективной защиты / **М.А. Коробицына**, Г.Д. Горелик, М.Л. Рудаков; заявитель и правообладатель Санкт-Петербургский горный университет.- № 2019616198; заявл. 06.05.2019; опубл. 20.05.2019, Бюл. №5.-1 с.

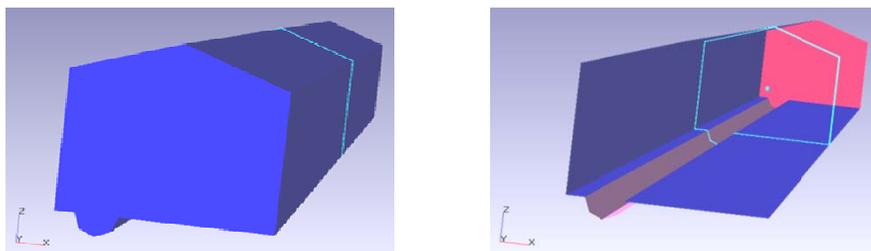


Рисунок 3 – Геометрия расчетной области

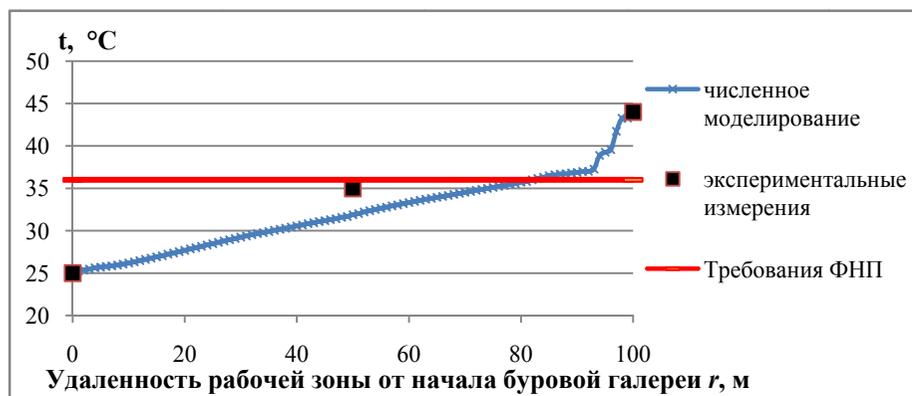


Рисунок 4 – Верификация результатов численного расчета температур воздуха в рабочих зонах двух буровых галерей

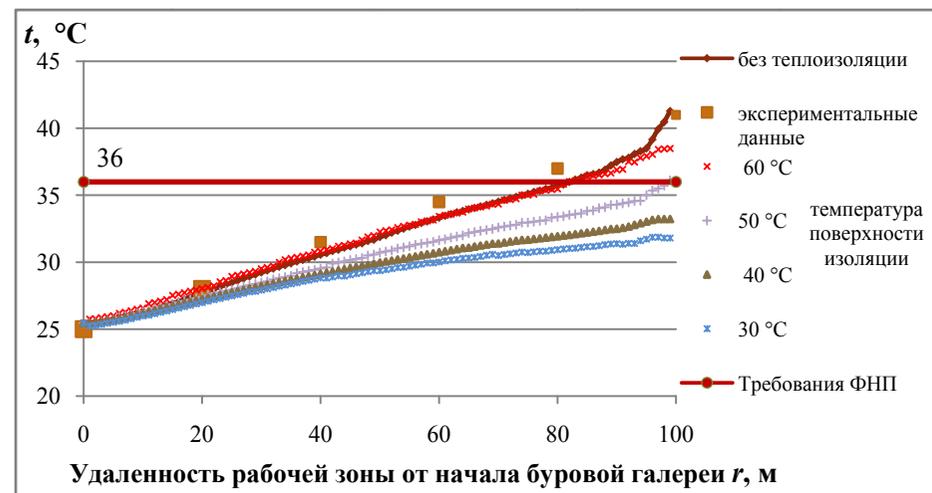


Рисунок 5 – График изменения температуры воздуха в рабочих зонах

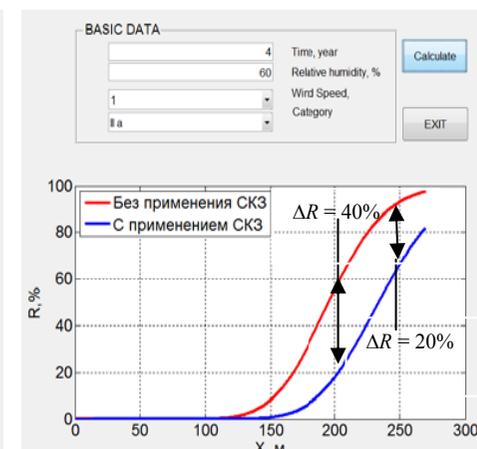
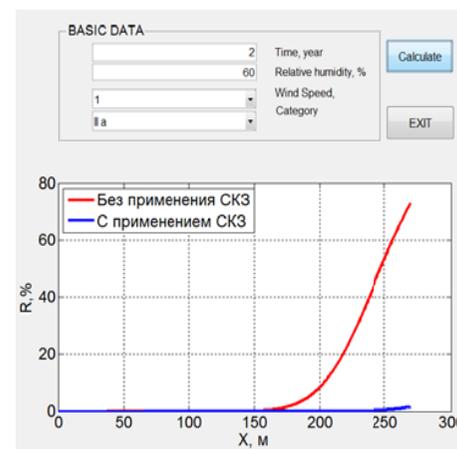


Рисунок 7 – Результаты расчета риска перегревания работников, полученные с помощью разработанного программного обеспечения, для продолжительности эксплуатации уклонного блока 2 и 4 года.

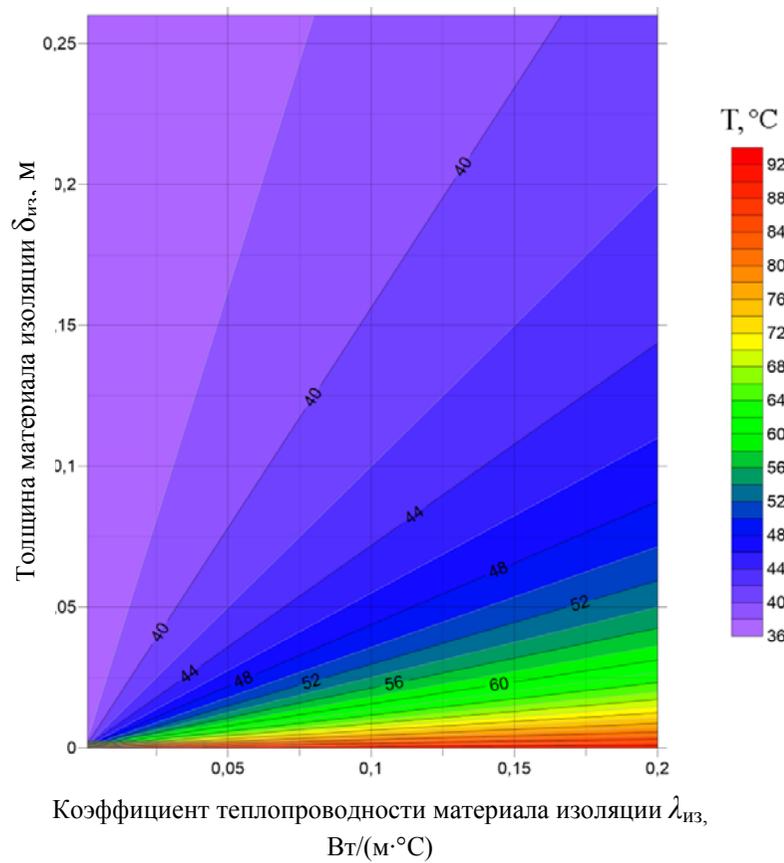


Рисунок 8 – Номограмма зависимости температуры поверхности изоляционного материала от его толщины и коэффициента теплопроводности

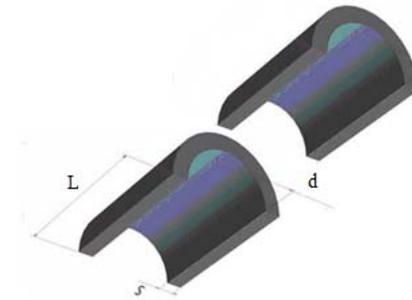


Рисунок 9 – Возможная конструкция модулей термоизолирующего средства коллективной защиты
 L – длина модуля; d – диаметр металлического желоба; S – толщина пеностекла

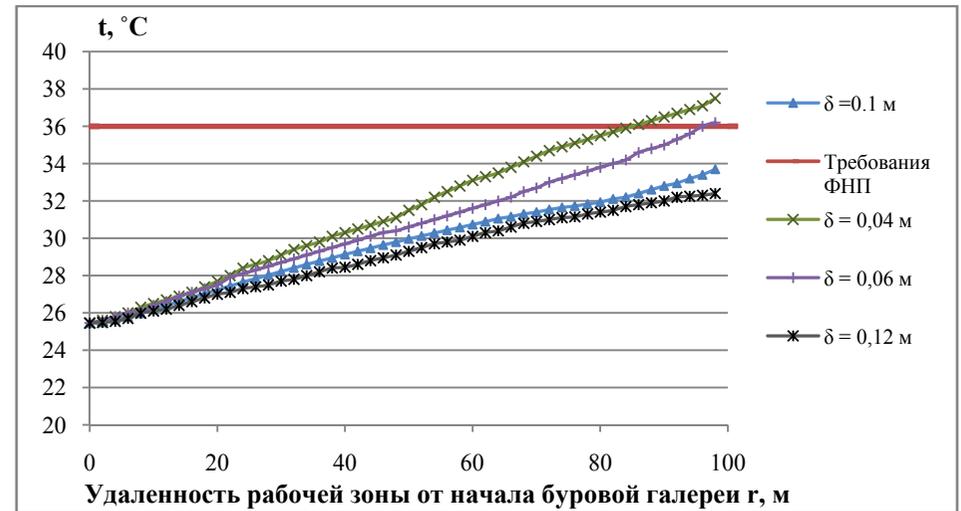


Рисунок 10 – Графики распределения температуры воздуха в рабочих зонах при использовании термоизолирующего средства коллективной защиты с толщиной слоя пеностекла δ от 0,04 до 0,12 м