

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования

«Санкт-Петербургский горный университет»



*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)*

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>4</b>  |
| <b>ГЛАВА 1 АНАЛИЗ УСЛОВИЙ ТРУДА РАБОТНИКОВ НЕФТЯНЫХ ШАХТ .....</b>  | <b>11</b> |
| 1.1 Перспективы добычи тяжелых высоковязких нефтей и особенности применяемых систем разработки.....   | 11        |
| 1.2 Анализ опасных и вредных производственных факторов на рабочих местах в нефтяных шахтах.....   | 15        |
| 1.3 Гигиеническое нормирование параметров микроклимата .....  | 21        |
| 1.4 Анализ существующих методов нормализации параметров микроклимата в нефтяных шахтах.....   | 24        |
| 1.5 Выводы по главе 1 .....   | 29        |
| <b>ГЛАВА 2 ИССЛЕДОВАНИЕ ИСТОЧНИКОВ ТЕПЛО ВЫДЕЛЕНИЙ, ФОРМИРУЮЩИХ НАГРЕВАЮЩИЙ МИКРОКЛИМАТ В РАБОЧИХ ЗОНАХ БУРОВЫХ ГАЛЕРЕЙ.....</b>                                | <b>31</b> |
| 2.1 Экспериментальные исследования распределения температуры воздуха в уклонном блоке .....   | 31        |
| 2.2 Установление основных источников тепловыделения, определяющих микроклиматические условия в рабочих зонах буровых галерей нефтяных шахт                      | 35        |
| 2.3 Установление изменения тепловыделений основных источников тепловыделения от продолжительности эксплуатации уклонного блока.....                             | 39        |
| 2.4 Выводы по главе 2.....  | 42        |
| <b>ГЛАВА 3 МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА В РАБОЧИХ ЗОНАХ НЕФТЯНЫХ ШАХТ ....</b>  | <b>43</b> |
| 3.1 Общее описание программного комплекса .....   | 43        |
| 3.2 Дифференциальные уравнения для математического моделирования распределения температуры воздуха в рабочих зонах.....   | 45        |
| 3.3 Прогноз распределения температуры воздуха в рабочих зонах нефтяных шахт с учетом применения термоизолирующего средства коллективной защиты работников ..... | 50        |

|   |           |
|---|-----------|
| 3.4 Определение необходимого снижения температуры поверхности термоизолирующего покрытия.....   | 53        |
| 3.5 Выводы по главе 3.....  | 54        |
| <b>ГЛАВА 4 РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ТЕРМОИЗОЛИРУЮЩЕГО СРЕДСТВА КОЛЛЕКТИВНОЙ ЗАЩИТЫ РАБОТНИКОВ.....</b>   | <b>56</b> |
| 4.1 Общий подход к определению необходимых параметров термоизолирующего средства коллективной защиты работников.....  | 56        |
| 4.2 Выбор материалов термоизолирующего покрытия системы транспортировки нефтесодержащей продукции.....  | 59        |
| 4.3 Разработка алгоритма для оценки риска перегревания работников нефтяных шахт, учитывающего применение термоизолирующего средства коллективной защиты работников..... | 63        |
| 4.4 Выводы по главе 4.....  | 70        |
| <b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....</b>  | <b>72</b> |
| <b>СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....</b>  | <b>73</b> |
| Приложение А.....   | 86        |

## ВВЕДЕНИЕ

### **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 в выработках нефтяных шахт в настоящее время реализуются такие меры как создание водяной завесы, образуемой с помощью форсунок, теплоизоляция нефтепровода, проветривание, использование средств индивидуальной защиты работников, а также управление режимом труда и отдыха [55]. Методы регулирования теплового режима на нефтяных шахтах с

помощью технологий теплоизоляции горного массива на выемочных участках освещены в трудах А.А. Мартынова и Г.Г. Литвинского. В работах Клюкина Ю.А. и Семина М.А. предложено применение закрытой системы сбора нефти. Вопросам обеспечения и контроля безопасности работ на нефтяных шахтах посвящены работы З.Х. Ягубова и В.И. Крупенского. В работах А.В. Николаева, Л.Ю. Левина, А.В. Зайцева, В.Р. Алабьева, А.Г. Исаевича, Н.А. Трушковой предлагается использование холодильных машин для обеспечения допустимых величин параметров микроклимата в выработках нефтяных шахт. В исследованиях А.В. Николаева рассматривается возможность проветривания уклонных блоков отдельно от других выработок нефтяной шахты с подведением свежего воздуха через вентиляционные скважины с поверхности земли.

Большой вклад в исследования термошахтной разработки нефтяных месторождений внесли: Ю.П. Желтов, Ю.П. Коноплев, Л.Ю. Левин, О.А. Морозюк, В.П. Родак, Л.М. Рузин, Д.Ю. Седнев, З.Х. Ягубов. 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, а также проведена оценка газо-пылевого режима нефтяной шахты. 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 теплоступлений 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 теплоступления 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 теплоступлений 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 тепlopоступления 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 перегревания 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 тепlopоступления при транспортировке нефтесодержащей продукции.

2. Снижение температуры воздуха в рабочих зонах буровых галерей достигается за счет применения термоизолирующего средства коллективной защиты, уменьшающего тепlopоступления 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:**

- программа для ЭВМ «Программа для оценки риска перегрева 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 всероссийских и международных конференциях: Международной научно-практической конференции «Горное дело в XXI веке: технологии, наука, образование», посвященной 185-летию кафедры «Горное искусство», (Санкт-Петербургский горный университет, г. Санкт – Петербург, 2017 г.); Форуме проектов программ Союзного государства – VI Форуме вузов инженерно-технологического профиля «Глобальная энергетика: Партнерство и устойчивое развитие стран и технологий» (Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь); XIX Международной молодежной



конференции «СЕВЕРГЕОЭКОТЕХ-2018» (Ухтинский государственный технический университет, г. Ухта, 2018 г.); Всероссийской научно-практической конференция с международным участием «Совершенствование технологии горных работ и подготовка кадров для обеспечения техносферной безопасности в условиях Северо-Востока России», (Северо-Восточный Федеральный университет им. М.К. Аммосова, г. Якутск, 2018 г.); 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.); I Международной научно-практической конференции «Проблемы обеспечения безопасности» (Уфимский государственный авиационный технический университет, г. Уфа, 2019 г.); XX Международной молодежной конференции «СЕВЕРГЕОЭКОТЕХ-2019» (Ухтинский государственный технический университет, г. Ухта, 2019 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 нефтяных шахт; выявлены основные источники тепловыделений в горных выработках нефтяных шахт при использовании подземно-поверхностной системы разработки; определён 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 теплоступления при транспортировке добываемой нефтесодержащей продукции.

### **Публикации**

Основные результаты диссертации опубликованы в 9 печатных работах, из них 3 - в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки России, 1 – в издании, цитируемом в международной базе 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.

## **ГЛАВА 1 АНАЛИЗ УСЛОВИЙ ТРУДА РАБОТНИКОВ НЕФТЯНЫХ ШАХТ**

### **1.1 Перспективы добычи тяжелых высоковязких нефтей и особенности применяемых систем разработки**

Долгие годы и по настоящее время нефть играет важную роль в экономике стран и является одним из наиболее востребованных сырьевых ресурсов. В результате переработки из нее получают огромное количество продуктов, используемых в различных сферах деятельности человека. Большая часть добываемого ресурса расходуется на создание топлива: бензин, керосин, мазут, дизельное топливо. К другим изготавливаемым видам нефтепродуктов относят битумы, масла, пластмассы, смазки, охлаждающие жидкости. Нефть широко используется в производстве медицинских препаратов, косметических средств, тканей, моющих средств, лакокрасочных покрытий, парафина, пленочных материалов и других изделий.

Потребление нефти и нефтепродуктов имеет тенденцию к росту, при этом интенсивность отработки приводит к истощению запасов легких нефтей. В этой связи добыча трудноизвлекаемых высоковязких нефтей и природных битумов приобретает все большую актуальность в вопросе удовлетворения растущих объемов использования нефтепродуктов.

По некоторым оценкам, мировые запасы данного вида сырьевых ресурсов составляют около 750 – 900 млрд тонн и превышают запасы легких нефтей [53]. По разведанным запасам тяжелой нефти Россия находится на третьем месте, уступая первенство Канаде и Венесуэле [20]. Согласно различным источникам [4, 29, 32, 43, 58], запасы тяжелых нефтей в России достигают 29 % от общего объема запасов нефти и составляют от 7 до 13,4 млрд. тонн, а запасы природных битумов – свыше 33,4 млрд. тонн.

В Канаде примерно половина добываемой нефти приходится на нефтяные пески, основные запасы которых сосредоточены в нефтяных регионах Athabasca, Peace River и Cold Lake. Залежи, расположены в районе Athabasca, разрабатываются открытым карьерным способом, преимуществом которого является высокий коэффициент нефтеотдачи, составляющий 75-95%. Другим

способом добычи тяжелой нефти является ее извлечение непосредственно из пласта, при котором используют, как правило, тепловые методы добычи. Способы добычи тяжелой нефти непосредственно из пласта менее эффективны по сравнению с карьерным способом по параметру нефтеотдачи, но совершенствование технологий добычи может обеспечить снижение себестоимости получаемой нефти [63, 76].

В Российской Федерации значительные запасы тяжелой нефти сосредоточены в Республике Татарстан (33%), Республике Коми (23%), Ненецком автономном округе (15%), Самарской (7%) и Пермской (6%) областях, Республике Башкортостан (5%) и Удмуртии (5%) [20].

Уникальным и наиболее известным является Ярегское месторождение тяжелой высоковязкой нефти, расположенное в Ухто-Ижемском нефтегазоносном районе Тимано-Печорского бассейна (Республика Коми). К его основным характеристикам относят небольшую глубину залегания нефтемещающего пласта (от 130 до 300 м) и трещиновато-поровый коллектор, представленный кварцевыми песчаниками. При естественной температуре пласта 6-8 °С вязкость нефти составляет 12 тыс мПа·с. Средняя толщина залежи – 26 м.

Ярегская нефть обладает уникальными качествами, которые позволяют получать из нее продукты, используемые в радиотехнической, авиационной и космической промышленности, например, битумы, масла, печное топливо различные пластики и другие. В ней преобладают нафтеновые (50%), ароматические (30%) и метановые (20%) углеводороды. Она практически не содержит парафинов, но при этом в ней содержится около 50% смол, содержание серы составляет 1.1-1.2%. Газонасыщенность пластовой нефти – 10 м<sup>3</sup>/т [48].

Ярегское месторождение начали разрабатывать в 1930-х годах. Нефть добывали скважинным и уклонно-скважинным методом, откачивая продукт насосами с верхних горизонтов. В 1972 году впервые в мире применили в промышленных масштабах термошахтную добычу [65]. Суть метода заключается в том, что снижение вязкости и повышение текучести нефти достигается за счет разогрева пласта с помощью закачки теплоносителя – насыщенного водяного

пара [74]. Разработка месторождений велась несколькими способами, включающими двухгоризонтную, одногоризонтную с оконтуривающими штреками, одногоризонтную и подземно-поверхностную системы, которые отличаются способом закачки пара для разогрева пласта [15].

Двухгоризонтная система разработки подразумевает разбуривание нефтесодержащего пласта из выработок вышележащего туффитового горизонта. Скважины для закачки пара расположены через 20-25 м. К преимуществам этой системы относят обеспечение разогрева требуемой площади пласта при небольших давлениях нагнетания и оптимальных темпах закачки пара. Недостатками считаются недостаточно сильный разогрев нижней части пласта и большие объемы подготовительных горных и буровых работ, требующих соответствующих затрат.

Одногоризонтная система с оконтуривающими штреками характеризуется закачиванием пара через скважины, пробуренные из буровой галереи, и через скважины, пробуренные по контуру блока в туффитовом горизонте (рисунок 1.1, б). Преимуществами являются прогрев наибольшей площади нефтемещающего пласта при небольших давлениях нагнетания пара, способных обеспечить нужные темпы закачки пара. Недостатками являются формирование повышенных температур воздуха в выработках, проходящих в разогреваемом пласте, а также большие затраты на подготовительные и буровые работы. Тем не менее такая система отличается высокой эффективностью. На некоторых отработанных по такой технологии блоках нефтеотдача превысила 70%.

Описанные выше системы не рассматриваются как перспективные из-за больших объемов высокочрезмерных горно-подготовительных работ. Минимальным объемом таких работ характеризуются одногоризонтная и подземно-поверхностная системы, применяемые в настоящее время.

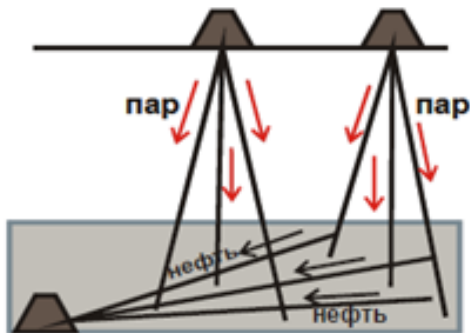
Одногоризонтная система характеризуется закачкой пара через пологонаклонные скважины буровой галереи (рисунок 1.1, г). Преимуществами являются: отсутствие затрат на бурение и обустройство поверхностных нагнетательных скважин, исключение прорывов пара за пределы

разрабатываемых участков; высокая нефтеотдача за счет нагнетания пара в нижний ярус подземных скважин [59]. К тому же имеется возможность перевода площадей двухгоризонтной системы на одногоризонтную, что уменьшает затраты на поддержание выработок туффитового горизонта. К недостаткам относят: наличие в рабочей зоне системы парораспределения, а также необходимость затрат на дополнительное оборудование подземных нагнетательных скважин, позволяющее снизить теплопоступления в рабочие зоны буровых галерей.

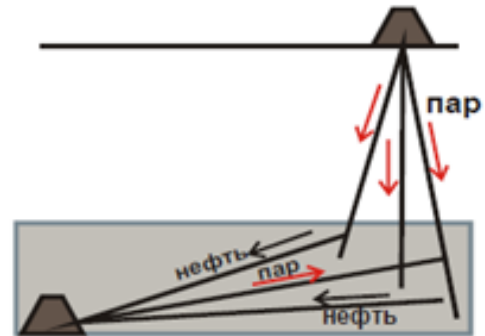
Подземно-поверхностная система отличается тем, что закачка пара осуществляется в верхнюю часть пласта с поверхности земли через скважины, пробуренные по контуру обрабатываемого блока через 50 м (рисунок 1.1, в). Преимуществами такой системы являются: снижение теплопоступлений в рабочие зоны буровых галерей за счет удаления зоны нагнетания пара от выработки на контур блока; уменьшение влияния системы парораспределения на формирование микроклимата в выработках нефтяных шахт благодаря ее выносу на поверхность. Недостатками являются: необходимость бурения большого количества скважин с поверхности земли, что увеличивает затраты [59]. Ограничение применимости такой системы для территорий болот, водоемов, жилых и производственных сооружений, охранных зон. Нижняя часть пласта не вовлечена в активную разработку. Присутствуют дополнительные эксплуатационные расходы на освоение и ремонт поверхностных скважин [59].

На Ярегском месторождении в большинстве случаев используется подземно-поверхностная и одногоризонтная системы. В работе [43] Коноплев Ю.П. отмечает важные преимущества первой, заключающиеся в отсутствии тепловыделений от подземных паропроводов в горные выработки при вынесении на поверхность всей системы пароснабжения, и в снижении количества прорывов пара в горные выработки при закачке пара на границу блока. Морозюк О.А. делает вывод о том, что усовершенствование одногоризонтной системы позволит устранить основные недостатки подземно-поверхностной системы, значительно снизить затраты и повысить эффективность разработки месторождения [59].

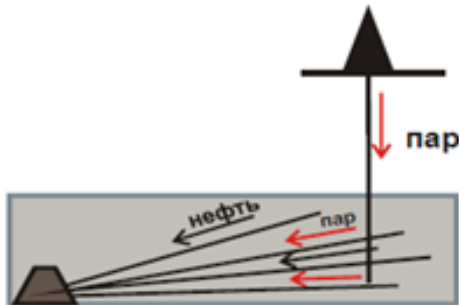
а) Двухгоризонтная система



б) Одногоризонтная с оконтуривающими штреками



в) Подземно-поверхностная система



г) Одногоризонтная система



Рисунок 1.1 – Принципиальная схема подачи пара в нефтесодержащий пласт при разных технологиях добычи нефти [59]

Исключение источника теплоступлений в виде системы паропроводов и нагнетание пара в нефтемещающий пласт вдали от буровой галереи при использовании подземно-поверхностной системы делает ее более привлекательной с точки зрения охраны труда по причине формирования в горных выработках более комфортных условий труда по параметрам микроклимата по сравнению с другими системами разработки.

## 1.2 Анализ опасных и вредных производственных факторов на рабочих местах в нефтяных шахтах

Шахтная разработка нефтяных месторождений является одним из перспективных путей добычи нефти, который может использоваться для интенсификации добычи и для доработки запасов. Однако при таком способе добычи на рабочих местах персонала, ведущего горные работы в эксплуатируемых уклонных блоках, формируется нагревающий микроклимат, поэтому необходимо обращать отдельное внимание на решение вопросов,

связанных с уменьшением воздействия данного фактора на персонал нефтяных шахт [66, 91].

Нагнетание горячего пара в нефтяной пласт способствует появлению проблем, связанных с повышенной температурой и влажностью воздуха в выработках, проходящих непосредственно в продуктивном пласте и в соединенных с ними. Так, во всех уклонных блоках основным вредным фактором на рабочих местах является повышенная температура воздуха, которая в буровых галереях превышает допустимые 36 °С. В таблице 1.1 представлены результаты экспериментальных исследований температуры воздуха в нескольких уклонных блоках нефтяной шахты: на входе в него и непосредственно в буровой галерее [98].

Таблица 1.1 – Результаты замеров температуры воздуха в уклонных блоках нефтяной шахты

| Уклонный блок | Температура воздуха на входе в уклонный блок, t °С | Температура воздуха в буровой галерее, t °С |
|---------------|--|---|
| № 1           | 31   | 50  |
| № 2           | 24   | 54  |
| № 3           | 20   | 37,5  |
| № 4           | 33   | 49  |
| № 5           | 29,3   | 49  |

Факторы, формирующие тепловые условия в горных выработках нефтешахт, делятся на следующие категории:

- эндогенные (обусловленные природными процессами) – повышение температуры горных пород с глубиной; температура поверхностного воздуха; гидростатическое сжатие воздуха (принимается, что опускание воздуха на каждые 100 метров приводит к увеличению температуры воздуха на 1°С);

- экзогенные (техногенные) – выделение теплоты при физико-химических процессах, вызванных ведением горных работ – теплообмен с искусственно нагретым массивом; тепловыделения от добытой горячей водонефтяной смеси (продукции); тепло от работы машин и механизмов.



Наиболее существенные источники тепловыделений в выработках нефтяных шахт напрямую связаны с производственными процессами, к ним относятся:

- тепловыделения от искусственно разогретого горного массива, температура которого достигает 40 - 50 °С;
- тепловыделения от транспортируемой открытым способом нефтесодержащей продукции, температура которой может достигать 70 - 90 °С;
- тепловыделения от неизолированных и изолированных нефтепроводов и паропроводов;
- тепловыделения от отводов эксплуатационных скважин;
- тепло- и влаговыведения при неконтролируемом выходе пара из затрубных пространств эксплуатационных скважин (температура пара 93 - 95 °С) и геологических нарушений (температура пара 72-78 °С) [66].

В связи с вышеизложенным, наиболее простым решением снижения температуры кажется изменение технологических параметров. Однако приведенное решение весьма затруднительно, поскольку температура пласта является определяющим параметром эффективности нефтеотдачи пласта, т.е. количества добытой нефти [71].

Условия труда работников нефтяных шахт необходимо рассмотреть для двух принципиальных случаев. В первом случае горные работы ведутся в выработках с естественной температурой пород, при таких условиях значения параметров микроклимата на рабочих местах соответствуют оптимальным или допустимым, обозначенным в «СанПиН Физические факторы производственной среды. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений» [75].

Во втором случае, который в большей степени характерен для данного производства, работы ведутся в выработках шахты с действующими уклонными блоками, в которых ведется добыча нефти, т.е. происходит технологический разогрев нефтемещающего пласта. При таких условиях показатели микроклимата, формирующегося на рабочих местах, часто не соответствуют

допустимым значениям. Горные работы в таких выработках, как правило, ведутся работниками участка ремонтно-восстановительных работ и внутришахтного транспорта. В структуру участка входят следующие должности: подземный горнорабочий, машинист электровоза шахтного, доставщик крепежных материалов в шахту, дорожно-путевой рабочий, крепильщик. Работники данного участка задействованы при работе в выработках со значительным превышением значений температуры воздуха относительно допустимых величин. Наиболее сильно воздействию нагревающего микроклимата подвержены крепильщики, проводящие ремонтные работы в местах обрушения пород, где затруднен доступ свежего воздуха. В связи с этим, необходимость разработки ряда мер по достижению допустимых значений параметров микроклимата в рабочих зонах является актуальной задачей.

Выполнение работ в условиях нагревающего микроклимата приводит к повышению нагрузки на систему терморегуляции человека. Кроме условий работы важную роль имеют длительность воздействия, т.е. время нахождения работника в данных условиях, его физическая активность, т.е. тяжесть выполняемой работы, а также свойства спецодежды работника. Кроме того, при повышенных температуре и влажности воздуха снижается сопротивляемость организма влиянию других вредных производственных факторов [93]. Длительное воздействие 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, приводит к развитию патологий и может оказаться причиной возникновения несчастного случая, в том числе с летальным исходом в результате теплового удара [1, 4, 8, 14, 85, 92]. Так, в январе 2015 года, произошел групповой несчастный случай со смертельным исходом вследствие перегрева работников. Ведение работ в условиях повышенных температур негативно влияет на процессы регуляции нейроэндокринной системы, а также снижает сопротивляемость организма работника [87, 99-101].

Другим вредным фактором в рабочих зонах в нефтяных шахтах является запыленность шахтного воздуха. В диссертационной работе Нор Е.В. [64] описаны результаты исследования уровня запыленности при двух режимах бурения и при выемке горных пород, которые показали, что бурение создает концентрацию пыли, во много раз превосходящую предельно допустимую ( $2-4 \text{ мг/м}^3$ ), и в то же время создает силикозоопасную атмосферу. Пылеподавление при таких работах производится путем применения мокрого бурения и орошения взорванной породы при погрузке. Автор отмечает, что дополнительную опасность для здоровья представляют летучие углеводороды в пылевых частицах и смолистые продукты ярегской нефти. Отмечается, что применение средств пылеподавления существенно улучшает пылевой режим. Для более эффективной защиты рекомендуется использование средств индивидуальной защиты работников.

При ведении горных работ в атмосферу рабочих зон выделяется множество вредных веществ в газообразном состоянии – токсичных газов. В работе Цхадая Н.Д. освещен вопрос качественного состава воздуха горных выработок и сделан вывод о непостоянстве концентраций вредных веществ, при действии повышенных температур [90]. В атмосферу нефтяных шахт постоянно выделяются газы, заполняющие трещины и поры в породах, природный газ, попутный нефтяной газ, растворенный в пластовой воде и нефти, а также сорбированный горными породами газ [64]. Одним из основных источников образования углеводородов в шахтном воздухе является бурение нефтенасыщенных песков. В процессе бурения образуется большое количество пыли с сорбированными углеводородами.

Проходческие работы сопровождаются повышенным уровнем шума на рабочих местах. К основным источникам относят работу машин и механизмов, таких как отбойные молотки, перфораторы, вентиляторы местного проветривания. Для уменьшения уровня шума вентиляторы оборудуются шумопоглотителями. Работники применяют индивидуальные средства защиты.

Опасным фактором при ведении подземных работ является обрушение горных пород. По этой причине случился уже не один несчастный случай на шахтах по добыче нефти в Яреге, некоторые из них описаны ниже:

– 22 января 2015 г. в грузовой ветви вентиляционного ствола №1 шахты №3 два крепильщика с использованием отбойного молотка выполняли ремонтно-восстановительные работы. В результате обвала горной породы один из них погиб.

– 20 июля 2015 г. был завален породой шурф шахты №3, где находились пятеро проходчиков. Под завал попали двое шахтеров, горняков удалось освободить в течение короткого времени, пострадавшие получили легкие травмы.

– 14 сентября 2017 г. на шахте №1 произошло обрушение породы во время проходческих работ, погиб один человек.

Движущиеся машины и механизмы стали причиной еще одного несчастного случая, в результате которого один человек погиб, один получил травмы. 15 июля 2016 г. на шахте, в полевом штреке на шахтеров упала вагонетка, которая везла отработанную породу на поверхность. При расследовании, выяснили, что она сошла с рельсов из-за их плохого состояния.

Нефтяные шахты относят к опасным производственным объектам I класса опасности. Нефтешахты Ярегского месторождения ООО «ЛУКОЙЛ-Коми» являются частью предприятий нефтедобычи ПАО «ЛУКОЙЛ», где зафиксировано в 2015 году 11 аварий, 24 несчастных случая, в которых пострадало 30 человек и 4 погибло. В 2016 году произошло 2 аварии, 18 несчастных случаев с 27 пострадавшими и 2 погибшими [30].

На предприятиях ПАО «ЛУКОЙЛ», в том числе на нефтяных шахтах, проводятся мероприятия по повышению качества подготовки рабочих кадров, служащих неотъемлемой частью работы по снижению аварийности, числа несчастных случаев, производственного травматизма и профзаболеваний [16-18, 34, 35 84].

### 1.3 Гигиеническое нормирование параметров микроклимата

Оптимальные и допустимые значения параметров микроклимата на рабочих местах производственных помещений при выполнении работ разной тяжести в теплый и холодный период года устанавливаются СанПиН 2.2.4.548-96 «Физические факторы производственной среды. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений» [75]. Согласно СанПиН оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах отражены в таблице 1.2 [75]. Работа в оптимальных условиях обеспечивает как общее, так и локальное ощущение комфорта в течение всей смены.

Таблица 1.2 - Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений

| Период года | Категория работ по уровню энергозатрат, Вт | Температура воздуха, °С | Температура поверхностей, °С | Относительная влажность воздуха, % | Скорость движения воздуха, м/с |
|-------------|--|-------------------------|------------------------------|------------------------------------|--------------------------------|
| Холодный    | Ia (до 139)                                | 22 – 24                 | 21 – 25                      | 60 – 40                            | 0,1                            |
|             | Iб (140 - 174)                             | 21 – 23                 | 20 – 24                      | 60 – 40                            | 0,1                            |
|             | IIa (175 – 232)                            | 19 – 21                 | 18 – 22                      | 60 – 40                            | 0,2                            |
|             | IIб (233 – 290)                            | 17 – 19                 | 16 – 20                      | 60 – 40                            | 0,2                            |
|             | III (более 290)                            | 16 – 18                 | 15 – 19                      | 60 – 40                            | 0,3                            |
| Теплый      | Ia (до 139)                                | 23 – 25                 | 22 – 26                      | 60 – 40                            | 0,1                            |
|             | Iб (140 - 174)                             | 22 – 24                 | 21 – 25                      | 60 – 40                            | 0,1                            |
|             | IIa (175 – 232)                            | 20 – 22                 | 19 – 23                      | 60 – 40                            | 0,2                            |
|             | IIб (233 – 290)                            | 19 – 21                 | 18 – 22                      | 60 – 40                            | 0,2                            |
|             | III (более 290)                            | 18 – 20                 | 17 – 21                      | 60 – 40                            | 0,3                            |

В условиях, когда невозможно соблюдение оптимальных показателей по техническим или технологическим причинам, должны обеспечиваться допустимые параметры микроклимата, которые не приводят к повреждениям организма и нарушению состояния здоровья. Если температура воздуха на рабочих местах превышает 25°С, то следует соблюдать следующие значения влажности воздуха:

- температура воздуха 25°С – 70%;
- температура воздуха 26°С – 65%;
- температура воздуха 27°С – 60%;
- температура воздуха 28°С – 55% [75].

Для защиты работников от перегревания необходимо проводить оценку сочетанного влияния на организм всех параметров микроклимата через интегральный показатель тепловой нагрузки среды (ТНС) [83]. Определить величину ТНС-индекса можно исходя из уравнения 1.1 [83]:

$$\text{ТНС} = 0,7 t_{\text{вл.}} + 0,3 t_{\text{ш.}} \quad (1.1)$$

где  $t_{\text{вл.}}$  - температура смоченного термометра аспирационного психрометра, °С;

$t_{\text{ш.}}$  – температура внутри зачерненного шара, °С.

Во избежание случаев перегревания работников значения ТНС-индекса рекомендуется держать в пределах величин, представленных в таблице 1.3 [75].

Таблица 1.3 – Пределы величин ТНС-индекса, рекомендуемые для профилактики перегревания организмов работников

| Категории работ по уровню энергозатрат | Величины интегрального показателя, °С |
|--|---------------------------------------|
| Ia (до 139)                            | 22,2 – 26,4                           |
| Iб (140 - 174)                         | 21,5 – 25,8                           |
| IIa(175 – 232)                         | 20,5 – 25,1                           |
| IIб (233 – 290)                        | 19,5 – 23,9                           |
| III (более 290)                        | 18,0 – 21,8                           |

В целях предотвращения перегревания персонала, ведущего работы в условиях микроклимата, параметры которого не соответствуют допустимым значениям, необходимо сокращать время пребывания на рабочих местах (непрерывно или суммарно за рабочую смену) периодами, отраженными в таблице 1.4 [75]. Учитывая, что среднесменная температура воздуха и другие параметры микроклимата на рабочих местах, где работники находятся в течение рабочей смены и во время отдыха, не выходят за пределы допустимых значений, определенных для соответствующих категорий работ.

Таблица 1.4 – Длительность пребывания на рабочих местах при температуре воздуха выше допустимых значений

| Температура воздуха на рабочем месте, °С | Время пребывания, не более, при категориях работ, ч |           |     |
|--|---|-----------|-----|
|  | Ia - Ib   | IIa - IIб | III |
| 32,5                                     | 1   | -         | -   |
| 32,0                                     | 2   | -         | -   |
| 31,5                                     | 2,5   | 1         | -   |
| 31,0                                     | 3   | 2         | -   |
| 30,5                                     | 4   | 2,5       | 1   |
| 30,0                                     | 5   | 3         | 2   |
| 29,5                                     | 5,5   | 4         | 2,5 |
| 29,0                                     | 6   | 5         | 3   |
| 28,5                                     | 7   | 5,5       | 4   |
| 28,0                                     | 8   | 6         | 5   |
| 27,5                                     | -   | 7         | 5,5 |
| 27,0                                     | -   | 8         | 6   |
| 26,5                                     | -   | -         | 7   |
| 26,0                                     | -   | -         | 8   |

Согласно Федеральным нормам и правилам в области промышленной безопасности "Правила промышленной безопасности при разработке нефтяных месторождений шахтным способом" (ФНП), в добычных, подготовительных и других действующих выработках, в которых подземный персонал проводит работы в течение всей смены, температура воздуха не должна превышать 26 °С [89]. В случаях, когда в горных выработках работники не присутствуют постоянно в течение смены, разрешается повышение температуры воздуха включительно до 36 °С. Температура воздуха, поступающего в нефтяные шахты, должна быть не менее 2 °С. Скорость воздуха в горных выработках нефтяных шахт должна быть не менее 0,25 м/с. Максимальная скорость воздуха в уклоне не должна превышать 8 м/с [89]. В связи с тем, что ведение горных работ в действующих выработках уклонных блоков не подразумевает постоянного нахождения в них работников, то в рамках данной работы требуемыми значениями температуры воздуха будут считаться значения указанные в ФНП.

Анализ состава рудничной атмосферы в горных выработках нефтяных шахт проводится в соответствии с допустимыми концентрациями загрязняющих веществ и вредных газов, наиболее характерных для данного производства, которые представлены в таблице 1.5.

Таблица 1.5 - Допустимые концентрации вредных газов

| Газы и пары   | Максимально допустимая концентрация |                   |
|---|-------------------------------------|-------------------|
|   | % (по объему)                       | мг/м <sup>3</sup> |
| Оксид углерода (CO)   | 0,00170                             | 20                |
| Оксиды азота (в пересчете на NO <sub>2</sub> )                          | 0,00026                             | 5                 |
| Сернистый ангидрид (SO <sub>2</sub> )                                   | 0,00038                             | 10                |
| Сероводород (H <sub>2</sub> S)  | 0,00071                             | 10                |
| Углеводороды (C <sub>1</sub> – C <sub>10</sub> )                        | -                                   | 300               |
| Сероводород в смеси с углеводородами (C <sub>1</sub> – C <sub>5</sub> ) | 0,0002                              | 3                 |

#### 1.4 Анализ существующих методов нормализации параметров микроклимата в нефтяных шахтах

Согласно нормативным документам [60, 67, 68, 70, 88] на рабочих местах должны поддерживаться такие параметры микроклимата, при которых организм работника находится в оптимальном или допустимом тепловом состоянии и сохраняет тепловой баланс с окружающей средой.

Обеспечение допустимых величин показателей микроклимата в первую очередь возможно при использовании горнотехнических методов нормализации, позволяющих изменять температуру шахтного воздуха за счет некоторых преобразований технологий работ или замены техники, к которым можно отнести нижеописанные мероприятия [95].

1) Улучшение проветривания (увеличение количества подаваемого на проветривание воздуха, проектирование рациональных схем вскрытия и вентиляции).

Обеспечение пригодных микроклиматических условий для ведения подземных горных работ достигается с помощью проветривания горных выработок достаточным количеством воздуха, определяемым на этапе проектирования и гарантирующим создание безопасных условий труда.

На Ярегском месторождении шахты имеют единую систему, фланговую схему, всасывающий способ проветривания. Подготовительные выработки проводятся буровзрывным способом с применением аммонита, проветриваются с помощью вентилятора местного проветривания. Буровые галереи являются



выработками, в которых располагаются основные источники тепловыделений, они требуют усиленного проветривания для отведения теплоты. Однако как показывают результаты измерений температуры воздуха в рабочих зонах объемов поступающего воздуха участки буровых галерей шахты недостаточно для соблюдения допустимых величин параметров микроклимата [97].

Повышение безопасности работ в условиях шахтной добычи нефти может быть реализовано через создание специальных автоматизированных систем управления вентиляцией шахты или отдельных выработок [82]. Работа Ягубова З.Х. посвящена вопросу проветривания горных выработок нефтяных шахт, где поднимается вопрос автоматизации и регулирования данного процесса [97].

Николаев А.В. рассматривает создание отдельного проветривания уклонных блоков и горных выработок. Суть идеи заключается в проведении вентиляционной скважины непосредственно в буровую галерею, по которой нагретый воздух будет выходить на поверхность [61, 62]. Такое предложение имеет под собой обоснование, так как увеличение оттока горячего воздуха положительно скажется на изменении температуры воздуха в буровой галерее. А в случае подачи свежего охлажденного воздуха по вентиляционной скважине на прямую в галерею или уклонный блок температурный режим в рабочих зонах также улучшится, т.к. такой метод позволит избежать нагревания воздуха при его движении к месту требуемого проветривания.

В Горном институте УрО РАН (г. Пермь) предлагается использование особого энергоэффективного способа проветривания представляющего собой сооружение систем кондиционирования для охлаждения воздуха, подаваемого отдельно в каждый уклонный блок. При этом, внутри уклонного блока воздух должен двигаться по теплоизолированному коробу, имеющему технологические отверстия в конкретных местах – секциях, куда дозировано поступает свежая струя воздуха [81]. В работе [79] предложен и рассчитан критерий протяженности горных выработок нефтяной шахты для оценки их максимальной длины, при которой возможно поддержание требуемых значений параметров микроклимата.

2) Уменьшение тепловыделений горного массива (теплоизоляция стенок выработок).

Одним из перспективных направлений регулирования теплового режима и нашедшим свое широкое применение на угольных шахтах является снижение теплопритоков от горного массива при разработке глубоких месторождений с помощью теплоизоляции [3, 52, 56, 57, 86]. Теплоизоляционный слой, прикрепленный или нанесенный на стенки в глубоких шахтах, снижает тепловой поток от горного массива к воздуху выработки. Примером может служить нанесение на стенки выработки слоя торкрет-бетона. В то же время в нефтяных шахтах стенки выработки, т.е. искусственно разогретый нефтемещающий пласт, является одним из основных источников тепловыделений, вносящих вклад в формирование нагревающего микроклимата. В этой связи опыт снижения тепловыделений горного массива глубоких шахт может быть использован в условиях нефтяных шахт. Применение средств теплоизоляции в горных выработках нефтешахт снизит теплоприток от разогретого массива к воздуху, что способствует улучшению условий труда по параметрам микроклимата [80]. Вопросы разработки теплоизоляционной крепи и выбора наиболее подходящих материалов для условий нефтяных шахт освещены в работах Литвинского Г.Г., Мартынова А.А., Седнева Д.Ю. [28, 78]. Не смотря на имеющиеся исследования и разработки, теплоизоляция разогретых стенок буровых галерей нефтяных шахт до сих пор не нашла массового применения в связи с различными сложностями реализации идей.

3) Уменьшение тепловыделения от окислительных процессов, включая замену крепи с деревянной на другие виды, борьба с запыленностью, орошение составами специального назначения.

4) Уменьшение нагрева вентиляционной струи горячими трубопроводами (охлаждение трубопроводов или их перенос).

5) Снижение тепловыделения от местных источников тепла (теплоизоляция оборудования и других источников).

Еще одним источником тепловыделений при добыче нефти подземным термошахтным способом, вносящим значительный вклад в формирование нагревающего микроклимата, является добываемая и транспортируемая открытым способом разогретая нефтесодержащая продукция. В буровой галерее она перемещается самотеком от добывающих скважин до зумпфа по канавке, а в некоторых местах по всей поверхности подошвы выработки. В процессе течения посредством конвекции и испарения пара происходит нагрев воздуха и увеличение его влажности. Модель уклонного блока и расчет эффективности применения закрытой системы сбора и транспортировки нефти описаны в работах [40, 41, 49]. Однако в этих работах не оценен вклад этого источника тепловыделения для разных периодов эксплуатации уклонного блока. В работах [46, 47] также акцентируется внимание на борьбу с причиной формирования повышенных температур воздуха вследствие применения открытой системы сбора нефти и предлагается устройство для ее автоматического сбора из добычных скважин с подробным описанием принципа работы. Создание закрытого сбора нефти, безусловно, необходимая часть работ по достижению цели снижения температуры воздуха рабочих мест, однако для получения существенных результатов, такое устройство должно использоваться совместно с закрытой и термоизолированной системой транспортировки нефтесодержащей жидкости. В этой связи создание такого средства коллективной защиты является актуальной задачей [45].

В настоящее время на нефтяных шахтах применяется теплоизоляция нефтепроводов для поддержания ее в текучем состоянии, и паропроводов для сохранения его температуры, важной для технологических процессов добычи.

При невозможности организации или недостаточной эффективности вышеперечисленных горнотехнических методов применяют теплотехнический метод регулирования теплового режима шахт, предполагающий использование специальных систем и средств охлаждения воздуха. К таким техническим средствам относят поверхностные и подземные установки кондиционирования воздуха, теплообменники, воздухопроводы с холодным воздухом и другие.

Вследствие многообразия горнотехнических условий и причин формирования нагревающего микроклимата нормализация условий труда по параметрам микроклимата не может быть обеспечена использованием типовых мероприятий, и для решения проблемы необходимы комплексные научные исследования и разработка индивидуальных технических решений. В настоящее время уже есть накопленный опыт применения систем кондиционирования для нормализации параметров микроклимата на рабочих местах глубоких шахт. Теоретические основы формирования теплового режима шахт и рудников освещены в работах Дядькина Ю.Д., Шувалова Ю.В., Гендлера С.Г., Воропаева А.Ф., Тимофеевского Ю.С. [6, 7, 23-26, 57, 94, 95]. Тепловыми расчетами и выбором средств охлаждения для тупиковых выработок занимались Мартынов А.А., Малеев Н.В., Яковенко А.К. [54-57]. Представлены подходы к разработке технических решений по управлению тепловым режимом горных предприятий с использованием программно-вычислительных комплексов [33]. Обозначены направления развития способов и средств охлаждения воздуха [2].

Для условий нефтяных шахт есть достаточное количество научных исследований о возможностях применения и расчетах систем кондиционирования воздуха, однако на практике они применены не были [44]. В работе [42] даны методические основы построения системы кондиционирования воздуха в рабочих зонах по заданным технологическим параметрам систем разработки. В проведенных исследованиях [31] выделены несколько вариантов охлаждения воздуха и проведён прогноз снижения температуры воздуха. Один из предложенных способ состоит в создании индивидуальной подачи охлажденного воздуха по участкам выработок, в зависимости от параметров теплового режима каждого [50]. Применение такого воздуховода в системе кондиционирования воздуха предлагается применять в условиях протяженных буровых галерей нефтяных шахт. Воздуховод прокладывается по кровле выработки и имеет отверстия через запланированные выверенные расстояния для подачи воздуха в нужных местах. Использование холодильных машин для регулирования теплового режима нефтяных шахт предлагается также в работе Алабьева В.Р. [98].

В настоящее время для улучшения условий труда по параметрам микроклимата в выработках нефтяных шахт помимо различного проветривания организовано автоматическое мелкодисперсное распыление воды с помощью направленных форсунок, т.е. водяная завеса. Работниками применяются средств индивидуальной и коллективной защиты от повышенных температур (классификация согласно приложению А), соблюдаются режимы труда и отдыха. Однако результаты замеров показателей микроклимата указывают на то, что данные меры недостаточны. Повышенная температура воздуха рабочих зон является следствием наличия в выработке источников тепловыделения, вносящих свой вклад в формирование нагревающего микроклимата. 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 температур воздуха в рабочих зонах нефтяных шахт.

### **1.5 Выводы по главе 1**

1. В условиях постоянного роста численности населения и потребления энергоресурсов, а также постепенного истощения запасов легких нефтей, разработка месторождений трудноизвлекаемых высоковязких нефтей и природных битумов приобретает все большую актуальность. Технология добычи такого вида сырья подразумевает нагнетание горячего пара в нефтяной пласт, что способствует формированию нагревающего микроклимата и требует особого внимания к решению проблем, связанных с повышенной температурой и влажностью воздуха в горных выработках нефтяных шахт.

2. В главе был произведен анализ условий труда в нефтяных шахтах с подземно-поверхностной системой разработки, который показал, что основным вредным фактором при проведении горных работ является нагревающий микроклимат. Работники, ведущие горные работы и относящиеся к участку ремонтно-восстановительных работ и внутришахтного транспорта, подвержены

его воздействию наиболее сильно. Применяемых в настоящее время мер по нормализации параметров микроклимата в рабочих зонах буровых галерей не достаточно, и вопрос снижения температуры воздуха на рабочих местах является актуальным.

3. По результатам проведенного анализа применяемых методов нормализации параметров микроклимата в нефтяных шахтах выявлена необходимость дополнительного исследования формирования нагревающего микроклимата в зависимости от срока эксплуатации уклонного блока, выделения преобладающих источников тепловыделения в разные периоды времени и принятия мер по уменьшению их влияния. В этой связи актуальность темы исследования определяется необходимостью уменьшения тепловыделений от добываемой нефтесодержащей продукции для снижения температур воздуха в рабочих зонах нефтяных шахт.

## **ГЛАВА 2 ИССЛЕДОВАНИЕ ИСТОЧНИКОВ ТЕПЛО ВЫДЕЛЕНИЙ, ФОРМИРУЮЩИХ НАГРЕВАЮЩИЙ МИКРОКЛИМАТ В РАБОЧИХ ЗОНАХ БУРОВЫХ ГАЛЕРЕЙ**

### **2.1 Экспериментальные исследования распределения температуры воздуха в уклонном блоке**

Ярегское месторождение включает в себя три нефтяные шахты, на которых применяются разные способы паротеплового воздействия на пласт. В рамках данной работы рассматривается нефтяная шахта и эксплуатационные блоки, разрабатываемые по подземно-поверхностной технологии.

Нефтешахта расположена вблизи поселка Ярега Ухтинского района Республики Коми. Нефтевытесняющий пласт Ярегского месторождения высоковязкой нефти, обладающий средней нефтенасыщенной толщиной 26 м, приурочен к отложениям верхнего и среднего девона. Коллектор – трещиновато-пористые кварцевые песчаники, средняя пористость которых составляет 26 %. Кровля коллектора залегает на глубине 140-210 м, а температура самого нефтесодержащего пласта составляет 6-8 °С при естественном его состоянии [43].

Поле нефтяной шахты вскрыто тремя вертикальными стволами. Подъемный и вентиляционный №1 стволы центрально-сдвоенны и находятся друг от друга на расстоянии 65 м. В восточной части шахтного поля пройден вентиляционный ствол №2. На шахте организована фланговая схема проветривания со всасывающим способом. Свежая струя воздуха проходит по подъемному стволу и вентиляционному стволу №1, распределяется по ЗОШ-1 эт., ВОШ-1 эт., после чего распределяется по основным объектам проветривания шахты. Нефтешахта включает в себя пять уклонных блоков. Исходящая струя воздуха выходит на поверхность через вентиляционный ствол №2, который оборудован вентиляционной установкой главного проветривания.

Подземно-поверхностная система термошахтной разработки подразумевает нагнетание пара в нефтесодержащий пласт с поверхности земли по скважинам, пробуренным по периметру участка через 50 м, расположенные со средней

плотностью 1.6 га/скв [59]. Вся система пароснабжения вынесена на поверхность, благодаря чему снижается ее влияние на рудничную атмосферу. Кроме того, что в уклонном блоке нет дополнительного источника тепловыделений в виде паропровода, нагнетание горячего пара удалено от буровых галерей и происходит по контуру блоков, что также позволяет более длительное время поддерживать оптимальные значения температур воздуха в выработках по сравнению с другими технологиями.

Несмотря на все преимущества подземно-поверхностной системы разработки, в выработках уклонных блоков регистрируются превышения допустимых величин температуры воздуха. Для исследования распределения температуры воздуха были проведены замеры температуры и влажности воздуха последовательно в семи точках в двух уклонных блоках (рисунок 2.1, 2.2), на разном расстоянии от вентиляционного ствола по ходу направления движения воздуха. Результаты измерений отражены в таблице 2.1 и 2.2.

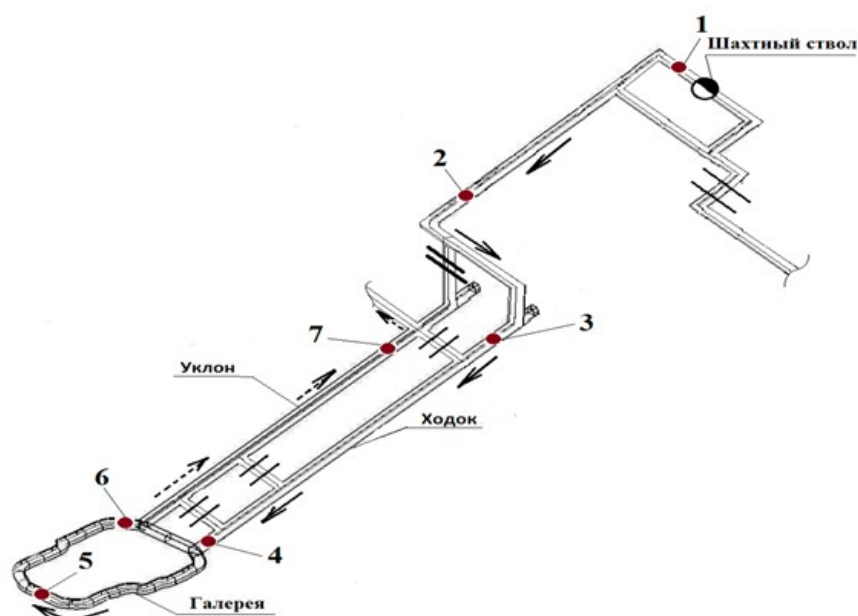


Рисунок 2.1 – Схема расположения пунктов замеров в уклонном блоке №1  
 1-7 – точки замеров значений температуры и влажности воздуха,  
 → – свежая струя, - - → – исходящая струя



Таблица 2.1 – Результаты замеров температуры и влажности воздуха в уклонном блоке №1

| Номер пункта замера | Расстояние от вентиляционного ствола, м | Температура воздуха, °С | Относительная влажность воздуха, % |
|---------------------|---|-------------------------|------------------------------------|
| 1                   | 50                                      | 6                       | 46                                 |
| 2                   | 200                                     | 18                      | 48                                 |
| 3                   | 350                                     | 21                      | 43                                 |
| 4                   | 610                                     | 26                      | 39                                 |
| 5                   | 750                                     | 37                      | 65                                 |
| 6                   | 885                                     | 39                      | 60                                 |
| 7                   | 1135                                    | 49                      | 78                                 |

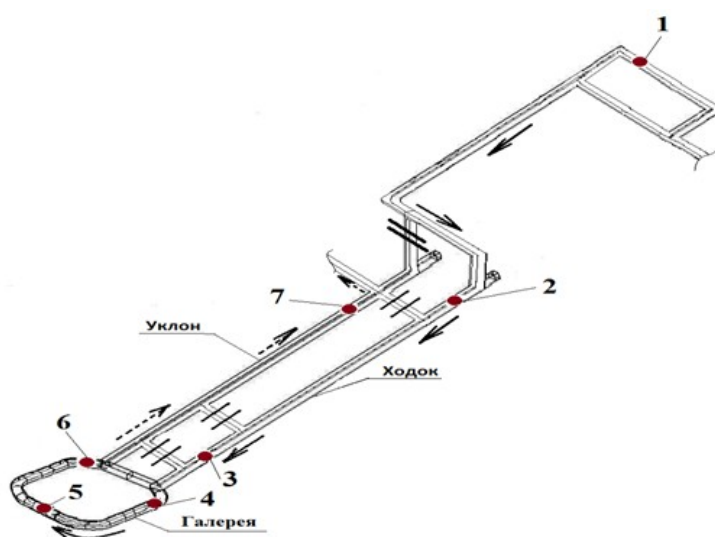


Рисунок 2.2 – Схема расположения пунктов замеров в уклонном блоке №2.

1-7 – точки замеров значений температуры и влажности воздуха,

→ – свежая струя, --→ – исходящая струя

Таблица 2.2 – Результаты замеров температуры и влажности воздуха в уклонном блоке №2

| Номер пункта замера | Расстояние от вентиляционного ствола, м | Температура воздуха, °С | Относительная влажность воздуха, % |
|---------------------|---|-------------------------|------------------------------------|
| 1                   | 50                                      | 10                      | 46                                 |
| 2                   | 200                                     | 13                      | 48                                 |
| 3                   | 450                                     | 23                      | 54                                 |
| 4                   | 480                                     | 25                      | 60                                 |
| 5                   | 530                                     | 35                      | 65                                 |
| 6                   | 580                                     | 44                      | 67                                 |
| 7                   | 840                                     | 45                      | 77                                 |

По результатам измерений были выявлены зависимости температуры воздуха от длины вентиляционного пути в двух уклонных блоках (рисунок 2.3). Линейные зависимости определены с помощью метода наименьших квадратов.

На график нанесена дополнительная линия, показывающая допустимое значение температуры воздуха [75].

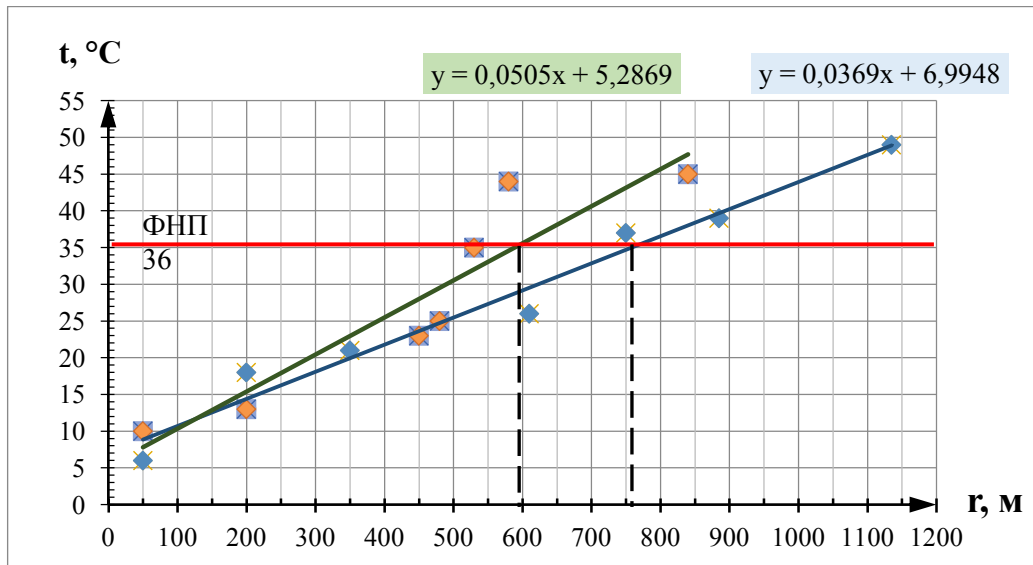


Рисунок 2.3 - Распределение температуры воздуха по длине вентиляционного пути в уклонных блоках №1 и №2

Согласно Федеральным нормам и правилам в области промышленной безопасности "Правила промышленной безопасности при разработке нефтяных месторождений шахтным способом" в тех горных выработках, где нет постоянного присутствия людей в течение рабочей смены, допускается температура воздуха до 36 °C. 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 показателей микроклимата в рабочих зонах проводится на основе установленных в ФНП величин [89]. Исследования температуры воздуха в уклонных блоках №1 и №2 показали превышения допустимых значений температуры воздуха в рабочих зонах буровых галерей на 5-8 °C, и на 9-12 °C в уклоне, где также могут проводиться горные работы.

Для определения причин формирования повышенных температур воздуха в уклонных блоках нефтяных шахт рассмотрены источники тепловыделений в данных выработках.

## **2.2 Установление основных источников тепловыделения, определяющих микроклиматические условия в рабочих зонах буровых галерей нефтяных шахт**

Уклонный блок нефтяной шахты состоит из трех основных выработок: двух параллельных наклонных – ходка и уклона, проходящих верхней частью по породам туффитового горизонта и нижней частью по нефтенасыщенному песчанику, и горизонтальной – буровой галереи, расположенной непосредственно в продуктивном пласте. Технологический разогрев нефтесодержащего пласта с помощью закачки пара обуславливает наличие постоянного источника тепловыделений в выработках уклонного блока в виде разогретых стенок этих выработок.

В буровой галерее по периметру выработки пробурены два ряда скважин: верхние – парораспределительные, проходящие в пласте максимально близко к паронагнетательным, нижние – добывающие, около их устья скапливается нефтесодержащая жидкость, поэтому они требуют периодического опорожнения. Устья скважин и запорная арматура аккумулируют тепло и также являются дополнительным источником тепловыделения, вносящим вклад в формирование нагревающего микроклимата.

В подошве выработки проложена канавка, по которой добытая жидкость самотеком перемещается в зумпф. Температура добываемой нефтесодержащей жидкости может достигать 80-90 °С, поэтому она является источником интенсивного поступления водяного пара и теплоты в рудничную атмосферу.

Другими факторами, формирующими тепловой режим горных выработок являются нагрев воздуха вследствие гидростатического сжатия, теплообмен с технологическим оборудованием и транспортом, естественное геотермическое состояние породного массива [26, 96], однако в условиях нефтяных шахт они не вносят существенного влияния на формирование нагревающего микроклимата на рабочих местах.

Свежая струя воздуха в буровую галерею поступает по ходку, а отработанная отводится по уклону и дальше по сети выработок к

вентиляционному стволу, поэтому температура воздуха по мере приближения к концу выработки увеличивается.

Процессы тепломассопереноса в буровой галерее осложняются наличием постоянно действующих источников тепловыделений. Это приводит к существенной нестационарности процессов теплообмена и иному характеру теплоступлений в рудничную атмосферу, которые не позволяют применять для их описания классические задачи горной теплофизики [41, 51, 57, 96].

Клюкиным Ю.А. в работе [41] предложена принципиальная схема источников тепловыделений в буровой галерее, представленная на рисунке 2.4, где  $Q_{\text{массив}}$  – тепловыделения от стенки выработки;  $Q_{\text{нсж}}$  – тепловыделения от добываемой нефтесодержащей жидкости;  $Q_{\text{скважин}}$  – тепловыделения от арматуры скважин.

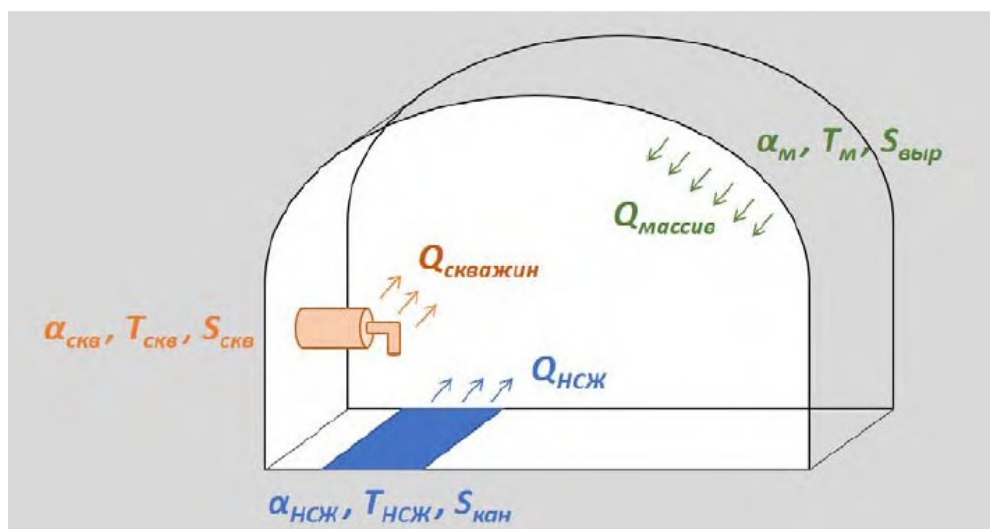


Рисунок 2.4 – Принципиальная схема источников тепловыделений в буровой галерее [41]

Для выявления источников тепловыделения, имеющих наибольший вклад в формирование нагревающего микроклимата на рабочих местах в выработках нефтяных шахт, проведем расчет их теплового потока по формулам Ю.Д. Дядькина, Ю.В. Шувалова, С.Г. Гендлера [27].

Тепловой поток от горного массива к воздуху рассчитывается по формуле 2.1

$$Q_{\text{ст}} = k_{\tau}[T_e - t(\tau)]S, \quad \text{Вт} \quad (2.1)$$

Где  $S$  – площадь поперечного сечения выработки,  $\text{м}^2$ ;

$T_e$  – естественная температура пород (в данном случае принимаем сформировавшуюся температуру пород стенки выработки), °С;

$t(\tau)$  – температура воздуха в горной выработке, м;

$k_\tau$  – коэффициент нестационарного теплообмена между горным массивом и воздухом определяется по формуле

$$k_\tau = 0,75 \frac{\alpha^{0,06} \lambda^{0,71}}{(r_0)^{0,48}} \left( \frac{c\gamma}{\tau} \right)^{0,23} \quad (2.2)$$

где  $\alpha$  – коэффициент теплоотдачи, Вт/(м<sup>2</sup>·°С);

$\lambda$  – коэффициент теплопроводности пород, Вт/(м·°С);

$r_0$  – радиус выработки, м;

$c$  – удельная теплоемкость пород, Дж/(кг·°С);

$\gamma$  – объемный вес пород, кгс/м<sup>3</sup>, Н/ м<sup>3</sup>.

Значение коэффициента теплоотдачи  $\alpha$  определяется по зависимости:

$$\alpha = 2\varepsilon(\vartheta\gamma)^{0,8} \left( \frac{U}{S} \right)^{0,2} \quad (2.3)$$

где  $\gamma$  – объемный вес, Н/м<sup>3</sup>;

$v$  – скорость движения воздуха, м/с;

$U$  – периметр, м;

$S$  – площадь сечения, м<sup>2</sup>.

Коэффициент шероховатости  $\varepsilon$  принимается равным единице для выработок с монолитным бетонным креплением; 1,5 – для креплений со сплошной затяжкой; 2 – для железобетонной, металлической или деревянной крепи без затяжки; 2,5 – для незакрепленной выработки; 3 – для стоечного и тому подобного крепления в очистных забоях.

Транспортировка нефтесодержащей продукции открытым способом сопровождается нагревом воздуха в выработке вследствие вынужденной конвекции и испарения водяного пара. Объем тепловыделений зависит от температуры и расхода жидкости, площади поверхности теплообмена, скоростью движения и временем ее нахождения в выработке. Тепловой поток от транспортируемой в открытых канавках нефтесодержащей жидкости к воздуху

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

$$Q_{\text{нсп}} = S\alpha(t - t_{\text{в}}) + \beta r (p_{\text{н}}^{t_{\text{в}}} - \varphi_{\text{ср}} p_{\text{н}}^{t_1}), \text{ Вт} \quad (2.4)$$

$S$  – площадь сечения выработки,  $\text{м}^2$ ;

$\alpha$  – коэффициент теплоотдачи,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ ;

$t$  и  $t_{\text{в}}$  – соответственно температура воды и температура воздуха,  $^\circ\text{C}$ ;

$\beta$  – коэффициент массоотдачи,  $\text{м}/\text{с}$ ;

$r$  – удельная теплота парообразования,  $\text{Дж}/\text{кг}$ .

$p_{\text{н}}^{t_{\text{в}}}$  и  $p_{\text{н}}^{t_1}$  – парциальное давление насыщенных водяных паров в воздухе при температуре воды в канавках и при температуре воздуха в начале выработки Па;

$$p_{\text{н}}^t = \exp\left(\frac{360+18,7t}{236+t}\right), \quad (2.5)$$

В результате вышеизложенных расчетов были получены значения тепловых потоков от двух основных источников тепловыделений. Установлено, что тепловой поток от транспортируемой открытым способом нефтесодержащей жидкости к воздуху буровой галереи превосходит в 2,7 раз тепловой поток от горного массива к воздуху [72]. Учитывая значительную нестационарность технологического процесса, а именно изменение темпов закачки пара в пласт, постепенный его разогрев и изменение температуры добываемой жидкости в процессе с течением времени от начала добычи, полученные результаты данного расчета можно считать верными только для конкретного периода работы эксплуатационного блока нефтяной шахты. Знание преобладающего источника тепловыделения, вносимого наибольший вклад в формирование нагревающего микроклимата, необходимо для принятия верных решений по выбору тех или иных мер по нормализации значений параметров микроклимата в рабочих зонах. Для этого проведена оценка зависимости влияния источников тепловыделения на формирование нагревающего микроклимата от продолжительности эксплуатации уклонных блоков.

### **2.3 Установление изменения тепловыделений основных источников тепловыделения от продолжительности эксплуатации уклонного блока**

Исследования разогрева пласта, изменения температуры и количества добываемой нефтесодержащей жидкости в процессе эксплуатации уклонных блоков в основном проводились для оценки эффективности различных технологий теплового воздействия на пласт при термошахтной разработке нефтяных месторождений. Такие исследования, безусловно, необходимы для контроля применяемых технологических операций, в то же время они могут быть использованы для прогноза условий труда на рабочих местах нефтяных шахт, учитывающего изменяющийся во времени вклад различных источников тепловыделения.

Нагревающий микроклимат в рабочих зонах нефтяных шахт формируется вследствие наличия источников тепловыделений, характерных для термошахтной разработки нефтяных месторождений. В связи с нестационарностью технологических процессов, источники тепловыделений также изменяют свой вклад в формирование микроклимата.

Подземно-поверхностная система разработки характеризуется более медленным разогревом нижней части пласта относительно верхней. Паронагнетательные скважины удалены от горных выработок, поэтому прогрев стенок буровой галереи занимает более длительное время, чем разогрев добываемой продукции. Все время эксплуатации уклонного блока можно разделить на 3 стадии. Первая стадия (первые 2 года) – рост закачки пара, температуры пласта и добываемой жидкости; вторая стадия (3-7 лет) – стабильная закачка пара, рост температуры пласта, незначительный рост температуры добываемой жидкости; третья стадия (более 7 лет) – снижение закачки пара, незначительное уменьшение температуры добываемой жидкости 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 2.5).

Уже на первой стадии температура добываемой нефтесодержащей продукции превышает 80 °С. На рисунке 2.6 видно, что 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.

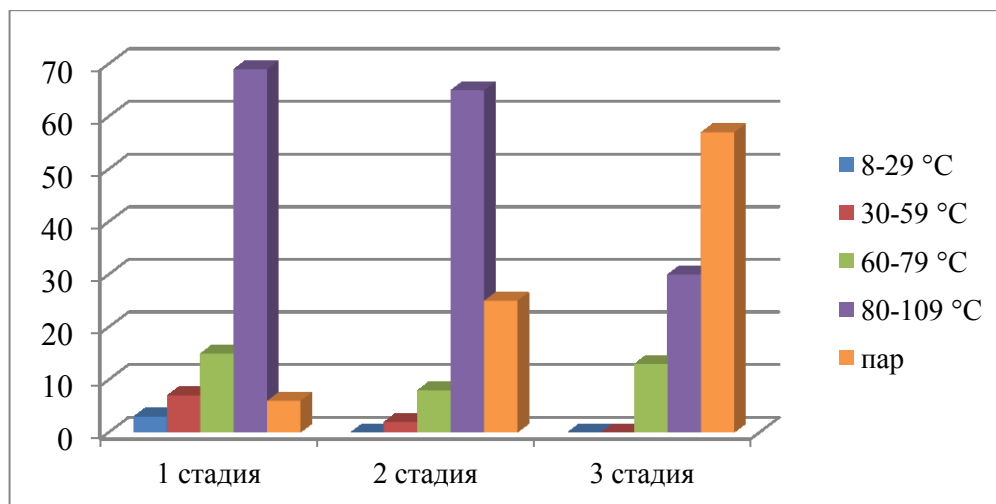


Рисунок 2.5 – Соотношение количества добываемой нефтесодержащей продукции разных температурных диапазонов

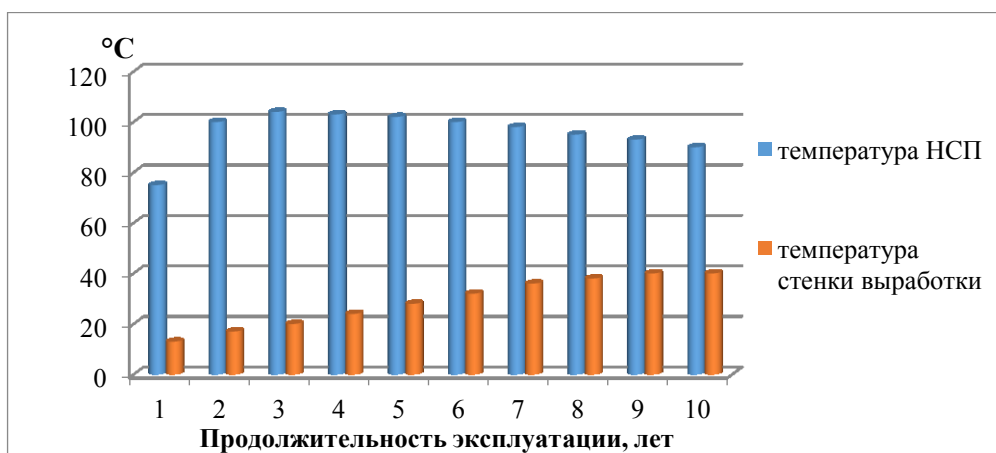


Рисунок 2.6 – Зависимость температур источников тепловыделений от продолжительности эксплуатации уклонного блока

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.

Для обоснования выбора средств коллективной защиты работников от воздействия нагревающего микроклимата в зависимости от стадии эксплуатации уклонного блока проведена оценка вклада тепловых потоков от добываемой разогретой нефтесодержащей продукции и от горного массива к воздуху. На основании вышеизложенных расчетов (формулы 2.1 - 2.5) получены значения тепловых потоков от системы открытой транспортировки нефтесодержащей продукции  $Q_{нсп}$  и от разогретого горного массива  $Q_{ст}$  к воздуху выработки на разных стадиях эксплуатации уклонного блока. Определено отношение  $Q_{нсп}$  к  $Q_{ст}$ , отраженное на рисунке 2.7 и обосновывающее преобладание количества тепловыделений от добываемой продукции на протяжении всего периода, но в большей степени в первые годы эксплуатации уклонного блока.

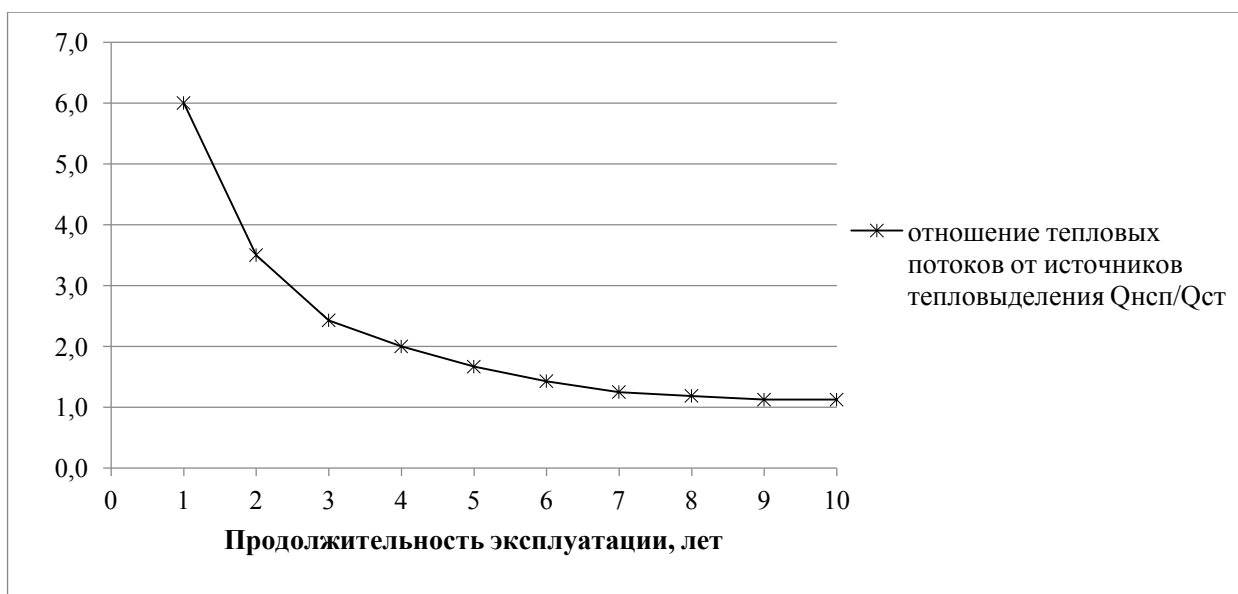


Рисунок 2.7 – Зависимость  $Q_{нсп} / Q_{ст}$  от продолжительности эксплуатации уклонного блока.  $Q_{нсп}$  – тепловой поток от системы открытой транспортировки нефтесодержащей продукции к воздуху,  $Q_{ст}$  – тепловой поток от разогретого горного массива к воздуху

Таким образом, для снижения температуры воздуха в рабочих зонах нефтяных шахт необходимо принимать меры по снижению тепловыделений от основных источников. Для температуры воздуха в рабочих зонах буровых галерей следует применять термоизолирующие средства коллективной защиты

работников, снижающие теплоступления при транспортировке нефтесодержащей продукции, начиная с первого года эксплуатации уклонного блока.

## **2.4 Выводы по главе 2**

1. Экспериментальные исследования распределения температуры воздуха в уклонном блоке показали, что наибольший рост значений регистрируется на участке буровой галереи. Превышение установленных Федеральными нормами и правилами в области промышленной безопасности "Правила промышленной безопасности при разработке нефтяных месторождений шахтным способом" составляет 5-8 °С. На участке уклона температура продолжает расти и превышает допустимые значения на 9-12 °С.

2. Анализ источников тепловыделения, влияющих на параметры микроклимата в рабочих зонах, показал, что основными являются источники, обусловленные технологическим процессом, а в большей степени добываемая нефтесодержащая продукция. Дополнительными источником являются устья добывающих скважин, нагрев воздуха вследствие гидростатического сжатия, теплообмен с технологическим оборудованием и транспортом, однако в условиях нефтяных шахт они не оказывают существенного влияния на формирование нагревающего микроклимата в рабочих зонах.

3. Нестационарность технологических процессов обуславливает изменение вклада основных источников тепловыделения в формирование повышенных температур воздуха в рабочих зонах буровых галерей. Изучение зависимости тепловыделений от продолжительности эксплуатации уклонного блока показало, что на протяжении всего периода, но в большей степени в первые годы эксплуатации уклонного блока, преобладающее количество тепловыделений исходит от разогретой добываемой нефтесодержащей продукции. Данный результат определяет необходимость проведения мероприятий по уменьшению влияния данного источника.

## ГЛАВА 3 МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА В РАБОЧИХ ЗОНАХ НЕФТЯНЫХ ШАХТ

### 3.1 Общее описание программного комплекса

В настоящее время численное и компьютерное моделирование является одним из основных способов исследования процессов и поиска решений в задачах, связанных с тепломассообменом. При допустимой сходимости данных, полученных в ходе натурных и лабораторных экспериментов, с данными, полученными на основе численного и компьютерного моделирования, возможно использование построенных моделей в качестве замены физического либо натурального эксперимента моделированием.

Для построения компьютерных моделей тепломассобмена и проведения гидродинамических расчётов в настоящее время существует ряд программных продуктов, среди которых наиболее известными являются:

- *ANSYS*;
- *FlowVision*;
- *SolidWorks*;
- *ABAQUS*.

В работе для создания компьютерной модели выработки с системой транспортировки нефтесодержащей продукции и оценки изменения температурного режима рудничной атмосферы был использован программный комплекс *FlowVision*, который обладает богатыми возможностями по моделированию и дальнейшей визуализации в трёхмерном пространстве течений жидкостей и газов в расчётной области средствами компьютерной графики.

К основным реализуемым *FlowVision* возможностям относят моделирование:

- течений жидкостей неньютоновских и ньютоновских;
- течений нестационарных или установившихся;
- до-, транс-, сверх- и гиперзвуковых трехмерных течений;
- потоков ламинарных, турбулентных и невязких;

- теплопереноса при естественной и вынужденной конвекции, сопряженном теплообмене и излучении;
- массопереноса;
- различной турбулентности;
- электрогидродинамики;
- горения.

*FlowVision* лёгок в использовании и позволяет получать надежные результаты при ведении расчетов в специализированных областях. Возможность решения задач автомобилестроения и судостроения, аэрокосмической индустрии, энергетики, химической промышленности делают этот программный комплекс привлекательным для ведущих промышленных компаний. Набор надёжных моделей физических процессов помогает понять сложное течение процессов. Дружественный графический интерфейс позволяет вывести на экран результаты расчетов заданных переменных в произвольных сечениях модели.

Визуализация течений и процессов на границах расчетной области, на заданных пользователем поверхностях, плоскостях и во всем объеме производится постпроцессором *FlowVision* с использованием изолиний, изоповерхностей, цветовых контуров, графиков и векторов. Программный комплекс содержит модуль, позволяющий создавать анимации и производить пакетную обработку полученных данных для создания анимации нестационарных течений. Визуализация решения в процессе счета позволяет контролировать процесс и вовремя вносить поправки.

Повышение точности получаемого решения возможно с помощью адаптации расчетной сетки на ее границе или в области, что к тому же значительно сокращает время построения качественной сетки, численного решения задачи и обработки результатов.

### 3.2 Дифференциальные уравнения для математического моделирования распределения температуры воздуха в рабочих зонах

Численное моделирование какого-либо процесса представляет собой набор определенных действий, обобщенных в этапы, включающие: выбор расчетной области; задание математической модели, начальных и граничных условий, расчетной сетки; проведение расчета, интерпретацию полученных данных.

В целях данного исследования расчеты в программном комплексе *FlowVision* необходимы для решения задачи распределения температуры воздуха в выработке [22]. Для моделирования использованы данные, предоставленные Ухтинским техническим университетом, и Центром по нефтетитановому производству ООО «Лукойл-Инжиниринг», а также результаты экспериментальных исследований показателей микроклимата в уклонных блоках нефтяной шахты (таблица 3.1). В качестве исходных данных приняты наиболее характерные значения для эксплуатируемых уклонных блоков.

Таблица 3.1 – Исходные данные для моделирования распределения температуры воздуха в горных выработках нефтяных шахт

| Параметр                                 | Значение | Единицы измерений |
|--|----------|-------------------|
| Площадь сечения выработки                | 8,2      | м <sup>2</sup>    |
| 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                |

Расчетной областью является участок горной выработки (буровой галереи) с площадью поперечного сечения 8.2 м<sup>2</sup>, по подошве которой проложена система открытой транспортировки нефтесодержащей продукции – канавка с полукруглым сечением диаметром 0,5 м (рисунок 3.1) [21].

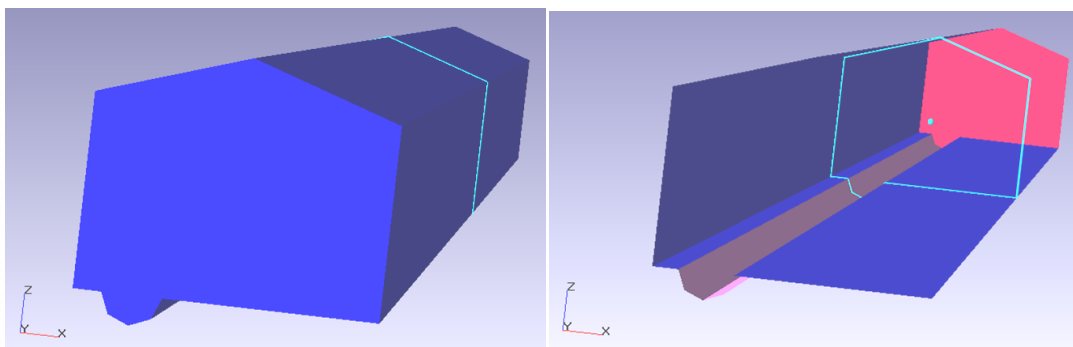


Рисунок 3.1 – Геометрия расчетной области

В созданной математической модели решаются следующие уравнения:

1. Уравнения Навье-Стокса – движение воздуха;
2. Уравнение энергии (для термодинамической энтальпии  $h$ ) – конвекция и теплопроводность в воздухе;
3. Уравнения  $k$ - $\varepsilon$  модели турбулентности.

Заданные на поверхностях трехмерной модели начальные и граничные условия хорошо передают сложившиеся в буровой галерее микроклиматические условия. Движение воздуха в выработке примем за турбулентный поток, определяемый  $k$ - $\varepsilon$  моделью турбулентности с коэффициентом турбулентной вязкости  $\mu_t$  выраженным по формуле Колмогорова-Прандтля через кинетическую энергию турбулентности [24]:

$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (3.1)$$

Система уравнений для  $k$ - $\varepsilon$  модели турбулентности формируется с помощью дополнительных уравнений для кинетической энергии турбулентности  $k$  и скорости ее диссипации  $\varepsilon$ . Уравнение переноса турбулентной кинетической энергии получено из уравнений Навье-Стокса и имеет вид:

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \nabla(\rho V k) = \nabla \left( \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \nabla k \right) + \mu_t G - \rho \varepsilon \quad (3.2)$$

Уравнение переноса скорости диссипации турбулентной кинетической энергии принимает следующий вид:

$$\frac{\partial(\rho\varepsilon)}{\partial t} + \nabla(\rho V\varepsilon) = \nabla \left( \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \nabla \varepsilon \right) + C_1 \frac{\varepsilon}{k} \mu_t G - C_2 f_1 \rho \frac{\varepsilon^2}{k} \quad (3.3)$$

$$G = D_i \frac{\partial V_i}{\partial x_j} \quad (3.4)$$

$$D_{ij} = S_{ij} - \frac{2}{3} \left( \nabla \cdot V + \frac{\rho k}{\mu_t} \right) \delta_{ij} \quad (3.5)$$

$$S_{ij} = \frac{\partial V_i}{\partial x_j} + \frac{\partial V_j}{\partial x_i} \quad (3.6)$$

В формулах (3.1 – 3.3)  $C_1$ ,  $C_2$  и  $C_\mu$  – константы,  $\sigma_k$  и  $\sigma_\varepsilon$  – турбулентные числа для  $k$  и  $\varepsilon$  соответственно. Заданные коэффициенты в расчетных модулях программного комплекса принимают следующие значения:  $\sigma_k = 1,0$ ;  $\sigma_\varepsilon = 1,3$ ;  $C_\mu = 0,09$ ;  $C_1 = 1,44$ ;  $C_2 = 1,92$ .

Уравнение переноса энтальпии используется в форме:

$$\frac{\partial(\rho h)}{\partial t} + \nabla(\rho V h) = \nabla \left( \left( \frac{\lambda}{C_p} + \frac{\mu_t}{Pr_t} \right) \nabla h \right) + Q, \quad (3.7)$$

Обозначения, использованные в уравнениях (3.1 – 3.7):

$h$  – энтальпия, Дж;  $C_p$  – удельная теплоемкость, Дж/(кг·К);

$\nabla$  – градиент функции;  $V$  – вектор относительной скорости, м/с;

$Pr$  – число Прандтля;

$\mu$  – молекулярная динамическая вязкость, кг/(м·с);

$\mu_t$  – турбулентная динамическая вязкость, кг/(м·с);

$\rho$  – плотность, кг/м<sup>3</sup>;

$\lambda$  – молекулярная теплопроводность, Вт/(м·К) [73].

Для модели задаются начальные и граничные условия (рисунок 3.2). Граничные условия – распределения расчетных величин на границах расчетной области, они устанавливаются для переменных, относительно которых решаются уравнения в частных производных, входящие в данную математическую модель. От граничных условий сильно зависит полученное решение, различные граничные условия, заданные на одной и той же поверхности дадут разный результат.

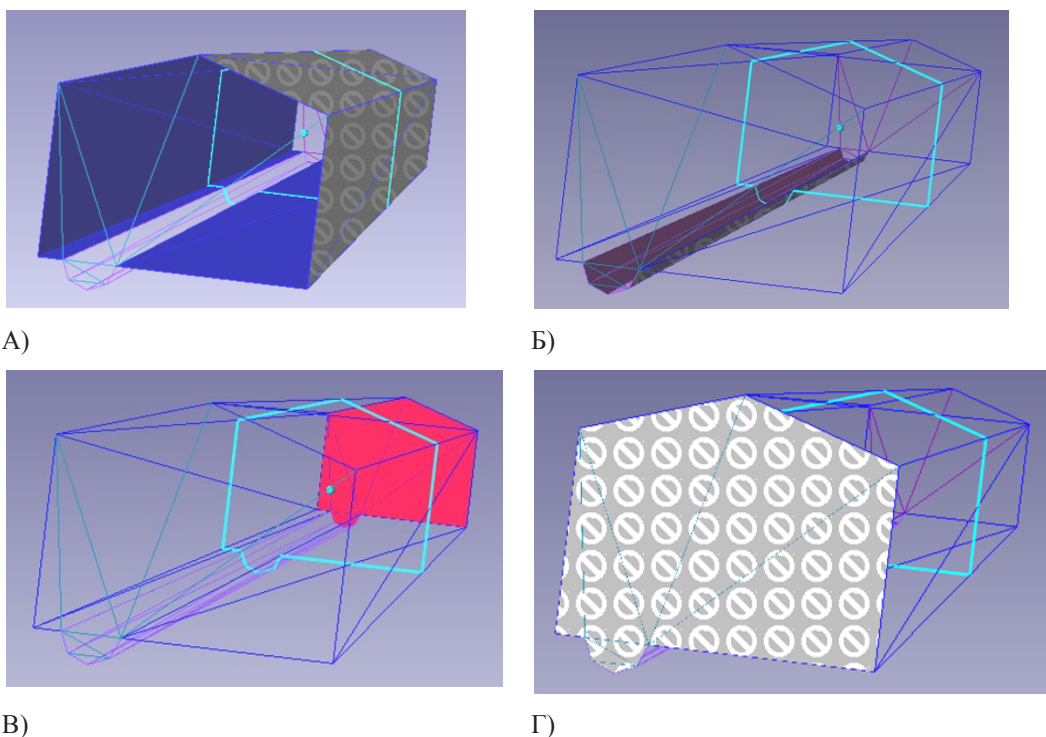


Рисунок 3.2 – Граничные условия:  
 А) ГУ «Стенка»; Б) ГУ «Стенка» (канавка); В) ГУ «Выход»; С) ГУ «Вход».

Каждая независимая переменная входит в граничные условия, которые в свою очередь составляют границы созданной модели.

Граничное условие «стенка»: скорость  $V_n = 0$ ,  $V_t = 0$ . Значение на стенке определяется как  $f|_w = f_w$  ( $f_w$  – значение скаляра на границе). Это граничное условие имеют кровля, подошва и стенки выработки,  $f_w = 40$  °С, а для системы транспортировки нефтесодержащей продукции зададим  $f_w = 70$  °С.

Граничное условие «вход»: нормальная скорость  $V_n|_w = V_w$ ,  $V_t = 0$ , где  $V_w$  – нормальная компонента скорости.  $V_w = 1.1$  кг/(м<sup>2</sup>с). Значение на стенке  $f|_w = f_w$ , где  $f_w$  – значение скаляра на границе,  $f_w = 20$  °С)

Граничное условие «выход»: нормальная скорость  $V_n|_w = V_w$ ,  $V_t = 0$ , где  $V_w$  – нормальная компонента скорости. Нулевой поток  $df/dn|_w = 0$ .

Начальные условия – распределения значений вычисляемых параметров в первоначальный момент в расчетной области. Начальные условия влияют на процесс развития решения, они устанавливаются для переменных, относительно которых решаются уравнения в частных производных, входящие в данную математическую модель.



Численное моделирование принципиально отличается от аналитических вычислений за счёт разделения непрерывной области потока на дискретные участки – ячейки вычислительной сетки, для которых и производится точечный расчёт дифференциальных уравнений. От выбора конкретных точек для решения уравнений тепломассопереноса в значительной степени зависит точность получаемого результата.

Для достижения требуемой точности значений, получаемых при решении уравнений, описывающих математическую модель, необходимо осуществить правильный выбор размера расчётной сетки, который бы позволил отразить все значимые для исследования изменения параметров процессов тепломассообмена. Размер ячеек расчётной сетки выбирается исходя из баланса между вычислительной сложностью и необходимой точностью полученной модели – при уменьшении размера ячеек, их количество на единицу объёма увеличивается, что увеличивает точность расчётов, однако пропорционально возрастает и необходимая для осуществления вычислений оперативная память и процессорное время.

Достижение снижения вычислительной сложности процесса обчёта математической модели возможно использование нерегулярной сетки с повышением количества ячеек в пограничных слоях, где интенсивность изменений параметров среды выше, чем в среднем по расчётной области.

Описанные выше уравнения решаются в *FlowVision* с применением прямоугольной адаптивной сетки с локальным измельчением на основе конечно-объемного метода. Расчетная сетка модели представлена на рисунке 3.3.

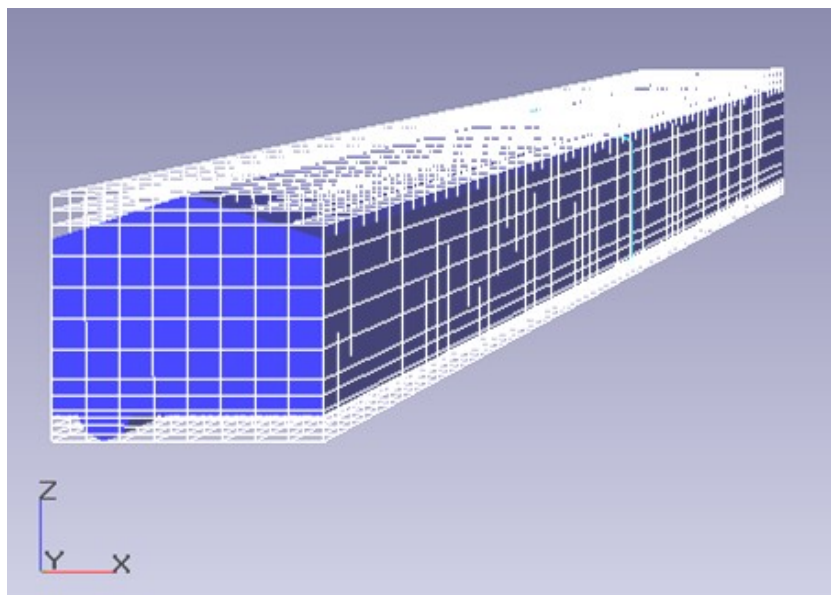
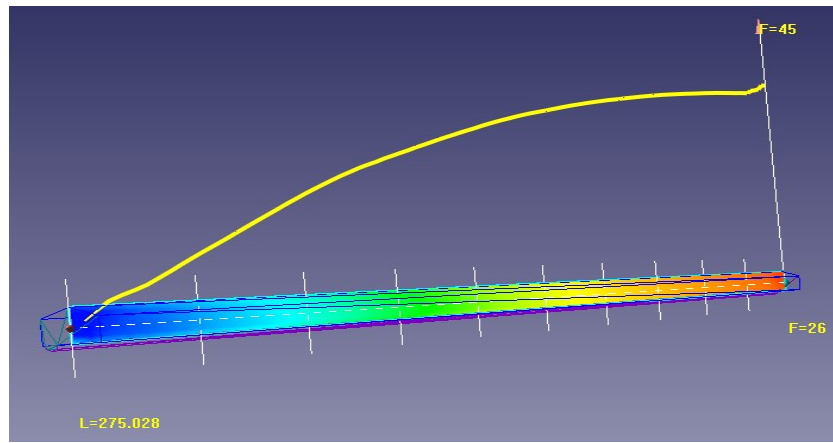


Рисунок 3.3 – Расчетная сетка

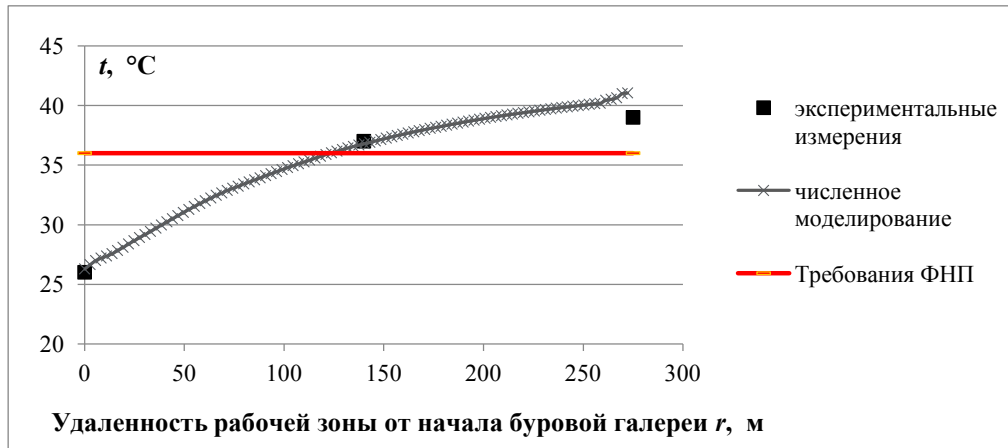
### **3.3 Прогноз распределения температуры воздуха в рабочих зонах нефтяных шахт с учетом применения термоизолирующего средства коллективной защиты работников**

При проведении математического моделирования были изучены формирующиеся распределения температуры воздуха в выработке при задании различных значений температуры источников тепловыделений, отражающих их изменения в зависимости от продолжительности эксплуатации уклонного блока.

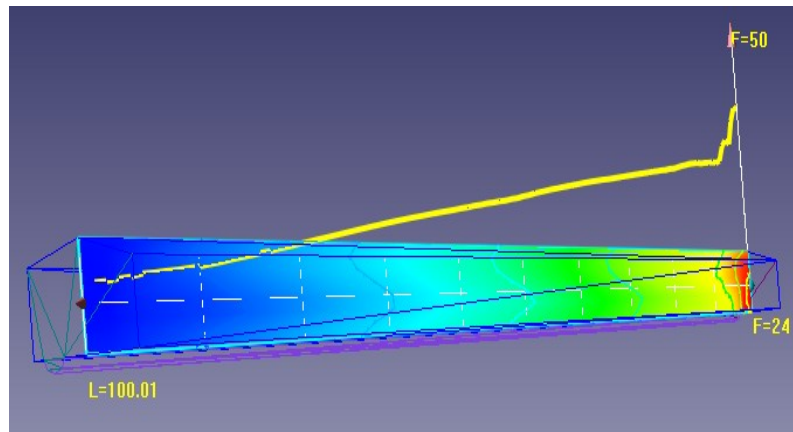
Для верификации получаемых численным методом результатов расчетов были получены зависимости распределения температуры воздуха в двух буровых галереях, модели которых отражали такие же условия, как в выработках, где проводились экспериментальные исследования. Сравнение проводилось по распределению температуры вдоль линии, проходящей через центр выработки. Верификация результатов численного расчета показала хорошую сходимость с экспериментальными измерениями, что отражают графики на рисунке 3.4. Для возможности определения превышений значений температур воздуха в рабочих зонах изображены допустимые по ФНП значения.



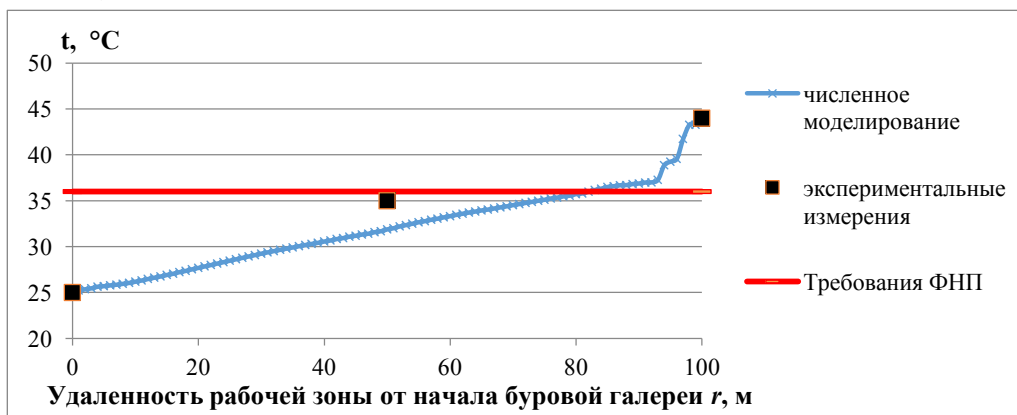
а)



б)



в)



г)

Рисунок 3.4 – Верификация результатов численного расчета температур воздуха в рабочих зонах двух буровых галерей  
 а) и в) визуализация распределения температуры в модели выработки; б) и г) верификация результатов

Согласно Федеральным нормам и правилам в области промышленной безопасности "Правила промышленной безопасности при разработке нефтяных месторождений шахтным способом" в тех 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 двух уклонных блоках показали превышения допустимых значений температуры воздуха в рабочих зонах на 5-8 °С.

Визуализация полученных решений, а именно распределение температурных полей, может быть отражена в сечении модели выработки как в продольном (рисунок 3.4), так и в поперечном (рисунок 3.5), что повышает наглядность отображения результатов.

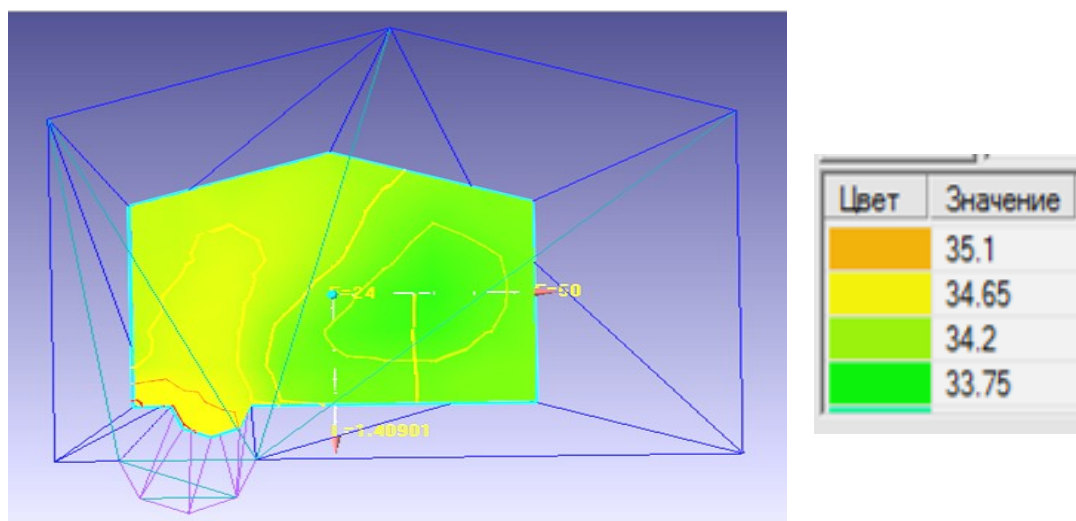


Рисунок 3.5 – Распределение температуры в поперечном сечении модели выработки

Применение численного моделирования позволяет производить прогноз параметров микроклимата в рабочих зонах горной выработки с учётом начальных и граничных условий. Граничные условия в выработке при использовании закрытой системы транспортировки нефтепродуктов будут существенно отличаться от граничных условий в разработанной компьютерной модели, чем

будет обусловлено снижение температуры воздуха в рабочих зонах. Для разработки рекомендаций по реализации закрытой системы транспортировки нефтесодержащей продукции необходимо на основе результатов компьютерного моделирования осуществить выбор средств коллективной защиты работников и провести анализ теплоизолирующих материалов.

### **3.4 Определение необходимого снижения температуры поверхности термоизолирующего покрытия**

Расчет параметров средства коллективной защиты в виде термоизолирующего покрытия системы транспортировки нефтесодержащей продукции следует проводить на основе полученных с помощью математического моделирования распределений температуры воздуха в рабочих зонах нефтяных шахт, учитывая допустимые Федеральными нормами и правилами значения температуры воздуха.

Применение закрытой системы транспортировки нефтесодержащей продукции в рабочих зонах горной выработки по сравнению с открытой транспортировкой существенно уменьшит вклад одного из основных источников тепловыделения в формирование нагревающего микроклимата, что приведёт к нелинейному уменьшению температуры воздуха в буровой галерее. В диссертационном исследовании на основе разработанной компьютерной модели горной выработки был произведён анализ изменения температуры воздуха в рабочих зонах при ведении горных работ в нефтяных шахтах для разных температур поверхности термоизолирующего покрытия. Распределения температур воздуха в рабочих зонах без использования средства коллективной защиты, при температурах поверхности термоизолирующего покрытия 60 °С, 50 °С, 40 °С и 30 °С отражены на рисунке 3.6.

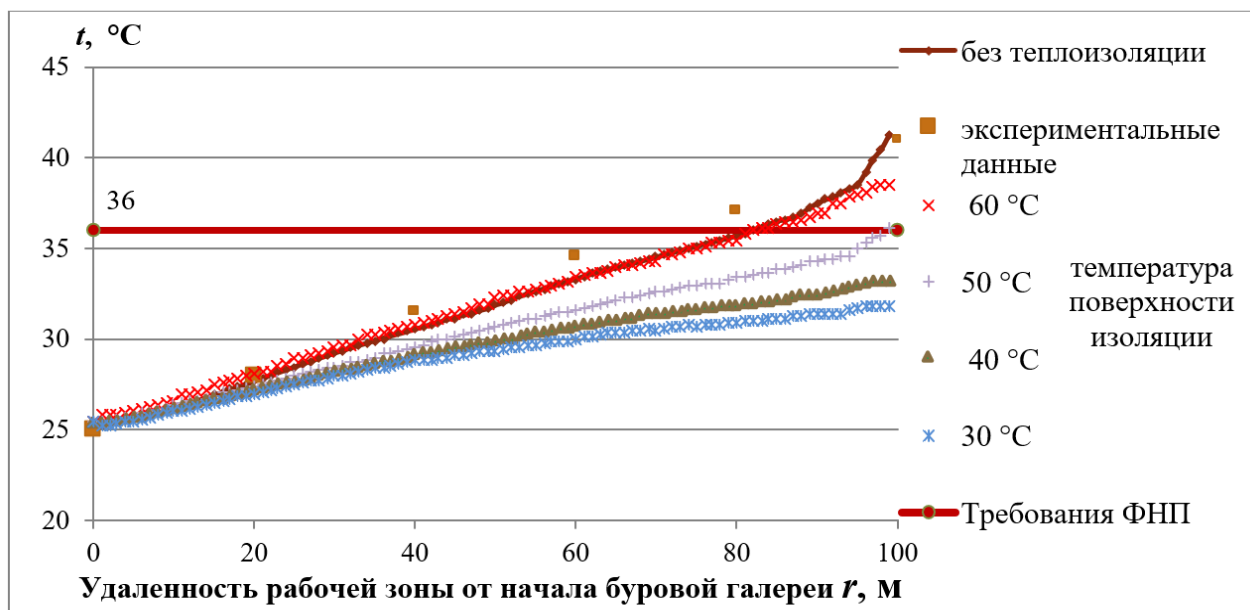


Рисунок 3.6 – Изменение температуры воздуха в рабочих зонах в зависимости от температуры поверхности термоизолирующего покрытия

Полученные зависимости показывают, что нормативные значения температуры воздуха в выработке достигаются при использовании теплоизолирующего материала, обеспечивающего температуру поверхности покрытия не превышающую 40 °C. Материал для изготовления термоизолирующего средства коллективной защиты работников для достижения снижения температуры воздуха в рабочих зонах нефтяных шахт следует выбирать с учетом обеспечения требуемого значения температуры на его поверхности.

### 3.5 Выводы по главе 3

1. Программный комплекс *FlowVision* рассчитан на моделирование и визуализацию трехмерных течений жидкости и газа методами компьютерной графики, подходит для решения поставленных в данном исследовании задач изучения распределения температуры воздуха в рабочих зонах нефтяных шахт.

2. Результаты расчетов распределения температуры воздуха в рабочих зонах нефтяных шахт, полученные с помощью математического моделирования показали хорошую сходимость с экспериментальными измерениями, что говорит о возможности использования данной модели для прогнозирования температур воздуха в рабочих зонах при использовании термоизолирующих средств

коллективной защиты работников, снижающего теплоступления при транспортировке нефтесодержащей продукции.

3. С помощью математического моделирования показано, что при использовании термоизолирующего покрытия, температура поверхности которого не будет превышать  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ , позволит обеспечить температуру воздуха в рабочих зонах буровых галерей нефтяных шахт, не превышающую допустимых ФНП значений.

## **ГЛАВА 4 РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ТЕРМОИЗОЛИРУЮЩЕГО СРЕДСТВА КОЛЛЕКТИВНОЙ ЗАЩИТЫ РАБОТНИКОВ**

### **4.1 Общий подход к определению необходимых параметров термоизолирующего средства коллективной защиты работников**

Материал для изготовления термоизолирующего средства коллективной защиты работников для достижения снижения температуры воздуха в рабочих зонах нефтяных шахт до установленных Федеральными нормами и правилами значений следует выбирать с учетом обеспечения требуемого значения температуры на его поверхности. Полученные зависимости показывают, что температура поверхности покрытия не должна превышать 40 °С, что в то же время является безопасной для работников температурой поверхности.

К параметрам термоизолирующего средства коллективной защиты работников относятся такие его свойства, которые характеризуют количество передаваемой теплоты и водяного пара за единицу времени, плотность материала изоляции, способность сохранять механические свойства при изменении температур окружающей среды и при монтаже конструкций. Теплоизоляционная конструкция может состоять из одного или нескольких слоев, отличающихся по своим свойствам и включающих собственно теплоизоляционный слой, пароизоляционный для защиты от проникновения влаги и ухудшения свойств изоляции, кровельный слой для защиты от внешних механических воздействий, выравнивающий слой для придания нужной формы поверхности. Конструкция должна отвечать требованиям энергоэффективности; эксплуатационной надежности и долговечности – выдерживать воздействия среды без снижения теплозащитных свойств в течение срока эксплуатации; безопасности для окружающей среды и работников; пожаробезопасности и взрывобезопасности материалов и выделяемых ими веществ, а также соответствовать требованиям, устанавливаемым в санитарных нормах.

Выбор материалов, входящих в состав конструкций для теплоизоляции должен учитывать:



- температуру окружающей среды и изолируемого объекта;
- требования пожарной безопасности;
- агрессивность окружающей среды и изолируемых веществ;
- требуемую долговечность теплоизоляционной конструкции;
- наличие нагрузки, ударных действий и вибраций на конструкцию;
- санитарно-гигиенические требования;
- условия монтажа, демонтажа и утилизации.

Расчет подходящей толщины и определение необходимого коэффициента теплопроводности изоляционного материала термоизолирующего покрытия для достижения заданной температуры поверхности проведен в соответствии с СП 61.13330.2012 Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов. Актуализированная редакция СНиП 41-03-2003 [77].

Толщина теплоизоляционного слоя определяется по формуле:

$$\delta_{\text{из}} = \frac{\lambda_{\text{из}}(t_{\text{в}} - t_{\text{п}})}{\alpha_{\text{н}}(t_{\text{п}} - t_{\text{н}})} \quad (4.1)$$

где  $\delta_{\text{из}}$  – толщина слоя теплоизоляционного материала, м;

$t_{\text{н}}$  – температура наружного воздуха, °С, в данном случае принимаем максимальную допустимую температуру воздуха рабочих зон 36 °С;

$t_{\text{п}}$  – температура поверхности теплоизоляционного слоя, °С, в данном случае расчет проводится для 40 °С;

$t_{\text{в}}$  – температура внутри изолируемого объекта, °С, т.е. температура транспортируемой нефтесодержащей продукции;

$\lambda_{\text{из}}$  – коэффициент теплопроводности материала изоляции, Вт/(м·°С);

$\alpha_{\text{н}}$  – коэффициент теплоотдачи, Вт/(м<sup>2</sup>·°С);

Формула температуры поверхности теплоизоляционного слоя, выраженная из формулы 4.1 имеет вид:

$$t_{\text{п}} = \frac{\lambda_{\text{из}}t_{\text{в}} + \alpha_{\text{н}}\delta t_{\text{н}}}{\alpha_{\text{н}}\delta + \lambda} \quad (4.2)$$

В результате расчетов была получена диаграмма зависимости температуры поверхности термоизолирующего покрытия от коэффициента теплопроводности материала изоляции и его толщины, которая необходима для определения

необходимых значений параметров изоляции, обеспечивающих заданную температуру поверхности термоизолирующего покрытия. Диаграмма представлена на рисунке 4.1.

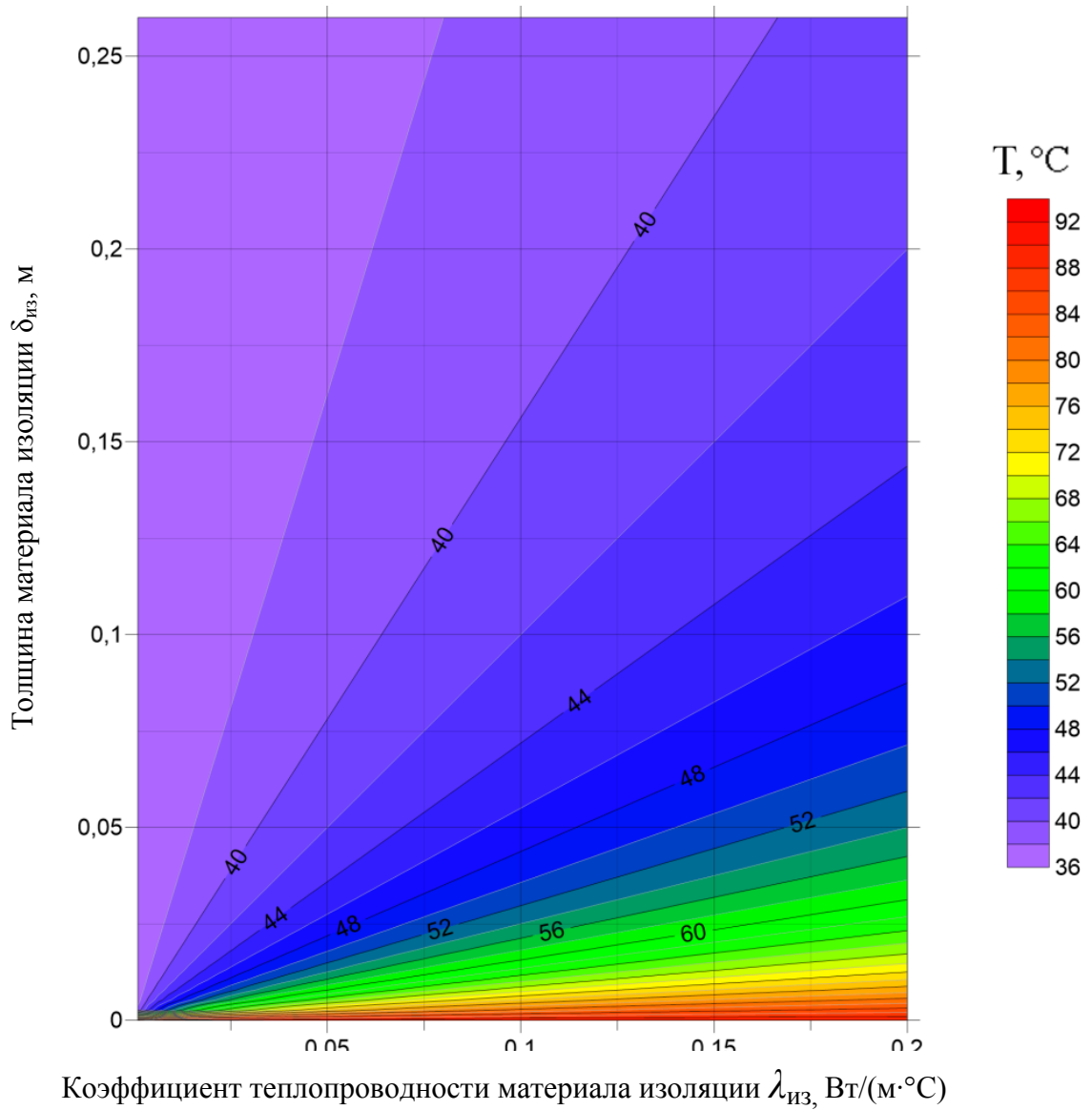


Рисунок 4.1 – Диаграмма зависимости температуры поверхности изоляционного материала от его толщины и коэффициента теплопроводности

Анализ расчетов показал, что температура поверхности термоизолирующего средства коллективной защиты работников принимает значение  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$  при соответствующих величинах коэффициента теплопроводности  $\lambda_{\text{из}}$  и толщины изолирующего материала  $\delta_{\text{из}}$ , отраженных в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Параметры изолирующих материалов для обеспечения температуры поверхности термоизолирующего средства коллективной защиты работников 40 °С

|                                 |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|---------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $\lambda_{из}$ ,<br>Вт/(м·°С)   | 0,02  | 0,03  | 0,04  | 0,05  | 0,06  | 0,07  | 0,08  | 0,09  | 0,10  |
| $\delta_{из}$ , М<br>(не менее) | 0,045 | 0,060 | 0,080 | 0,100 | 0,120 | 0,130 | 0,150 | 0,170 | 0,190 |

#### **4.2 Выбор материалов термоизолирующего покрытия системы транспортировки нефтесодержащей продукции**

В настоящее время существует большой выбор теплоизоляционных материалов, подходящих к применению в промышленности. Наиболее распространенные виды описаны ниже, а в таблице 4.2 отражены их теплофизические свойства.

Минеральная вата – один из самых распространённых видов утеплителя, используемых как в строительстве, так и в целях теплоизоляции промышленного оборудования. Структура материала представляет собой переплетение отдельных волокон, которые могут быть пропитаны водоотталкивающими смесями для придания гидрофобности. Выпускается такой материал в виде плит или скрученных в рулоны матов.

Шлаковата имеет рабочую температуру до 600 °С, изготавливается на основе доменного шлака, в результате чего имеет серый окрас. Такой утеплитель имеет высокий показатель теплопроводности и впитывает влагу, реагирует на сырость и создает агрессивную для металлов среду. Обладает одним преимуществом – низкая цена.

Стекловата – теплоизоляционный материал, мельчайшие волокна которого зачастую производятся из отходов стекольной промышленности, что определяет ее не высокую стоимость. К преимуществам относят ее малый вес, упругость, пожаробезопасность, удобство эксплуатации. Недостатками являются хрупкость волокон, что со временем приводит к усадке, высокое влагопоглощение, ухудшающее теплоизоляционные свойства.

Каменная вата на базальтовом волокне изготавливается путем расплавления горных пород при высокой температуре (до 1500°C). Волокна сцепляются путем добавки специальных веществ, что и дает долговечность. Базальтовая вата не деформируется, не реагирует на кислотно-щелочные среды. Такая вата способна выдержать температуру 300 °С.

Керамзит – экологически чистый, пористый строительный материал, сыпучий жаростойкий утеплитель, изготовленный из глины и сланца. Керамзит используется как в чистом виде при засыпке в целях дренажа и теплоизоляции, так и в виде специальных смесей. Обладает морозоустойчивостью и огнеупорностью, длительное время сохраняет свои свойства, имеет высокую прочность, химически инертен, хорошо впитывает влагу.

Перлит – теплоизоляционный материал природного происхождения, получаемый в результате термической обработки вулканических горных пород. Это сыпучий легкий огнеупорный материал, используемый в разных отраслях промышленности. Имеет широкий диапазон пригодных для применения температур; устойчив к воздействию насекомых, грызунов, грибков, плесени; поглощает жидкость в больших объемах, но и хорошо ее отдает.

Теплоизоляционный материал, представляющий собой вспененную массу силикатного стекла – пеностекло - утеплитель неорганического типа с ячеистой структурой, поры которого заполнены газом. Выпускается гранулированным или в виде блоков. Пеностекло обладает следующими положительными характеристиками:

- экологически чистый, прочный;
- устойчив к огню и температурам;
- не впитывает влагу и не пропускает пар;
- не восприимчив к кислотам, бактериям, грибкам, не привлекает грызунов.

Пеностекло можно использовать почти в любой отрасли – строительство, химическая, энергетическая, машиностроительная отрасли, а высокая цена материала оправдана его долговечностью.

Таблица 4.2 – теплофизические свойства наиболее распространенных теплоизоляционных материалов

| Материал  | Плотность,<br>кг/м <sup>3</sup> | Теплопроводность,<br>Вт/(м·град) | Теплоемкость,<br>Дж/(кг·град) |
|---|---------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|
| Вата минеральная  | 50                              | 0.045                            | 920                           |
| Вата минеральная  | 100...150                       | 0.055                            | 920                           |
| Вата стеклянная   | 155...200                       | 0.03                             | 800                           |
| Вата  | 50...80                         | 0.042                            | 1700                          |
| Вата шлаковая   | 200                             | 0.05                             | 750                           |
| Керамзит  | 800...1000                      | 0.16...0.2                       | 750                           |
| Керамзитобетон  | 500...1200                      | 0.18...0.46                      | —                             |
| Керамзитобетон на перлитовом песке                              | 800...1000                      | 0.22...0.28                      | 840                           |
| Листы пробковые   | 220                             | 0.035                            | —                             |
| Листы пробковые   | 260                             | 0.05                             | —                             |
| Магнезия в форме сегментов для                                  | 220...300                       | 0.073...0.084                    | —                             |
| Мастика асфальтовая   | 2000                            | 0.7                              | —                             |
| Маты и полосы из стеклянного волокна прошивные (ТУ 21-23-72-75) | 150                             | 0.061                            | 840                           |
| Маты минераловатные   | 50...125                        | 0.048...0.056                    | 840                           |
| Пенопласт ПС-1  | 100                             | 0.037                            | —                             |
| Пенопласт ПХВ-1 (ТУ 6-05-1179-75) и ПВ-1 (ТУ 6-05-1158-78)      | 65...125                        | 0.031...0.052                    | 1260                          |
| Пенополистирол (ГОСТ 15588-70)                                  | 40                              | 0.038                            | 1340                          |
| Пенополистирол  | 35...43                         | 0.028...0.03                     | 1600                          |
| Пенополиуретановые  | 150                             | 0.035...0.04                     | —                             |
| Пенополиэтилен  | —                               | 0.035...0.05                     | —                             |
| Пенополиуретановые  | —                               | 0.025                            | —                             |
| Пеностекло  | 110-170                         | 0.045-0.06                       | —                             |
| Перлит  | 200                             | 0.05                             | —                             |
| Перлит вспученный   | 100                             | 0.06                             | —                             |

Горные выработки, в которых необходимо применять средства коллективной защиты в виде термоизолирующих кожухов характеризуются наличием агрессивной химической среды, повышенной влажностью и необходимостью использования в них пожаробезопасных материалов. Поэтому помимо теплоизоляционных свойств необходимо учитывать физические характеристики материалов. Одним из материалов изоляции, пригодных для использования в данных условиях, является пеностекло. Его отличительной особенностью является ячеистая структура с замкнутыми порами, обеспечивающими паро- и водонепроницаемость, а также стойкость к воздействию химических веществ. Материал обладает высоким показателем прочности при сжатии и может использоваться без дополнительного покрытия сверху.

Возможная конструкция термоизолирующего средства коллективной защиты работников, снижающего тепlopоступления при транспортировке нефтесодержащей продукции, представлена на рисунке 4.2. Для удобства эксплуатации предлагается использовать модули, устанавливаемые вплотную друг к другу и представляющие собой соединение металлического желоба с пеностеклом [73].

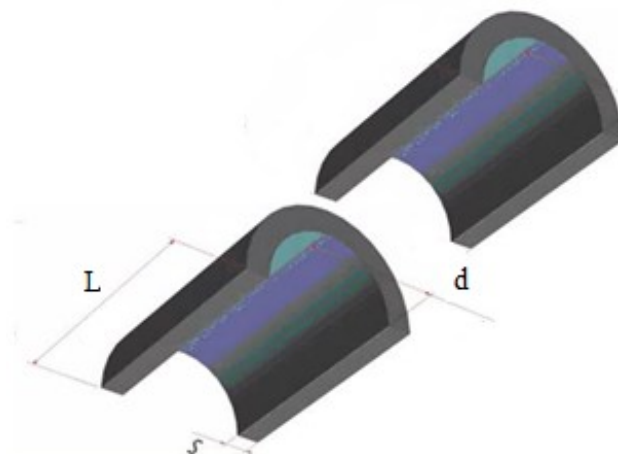


Рисунок 4.2 – Возможная конструкция модулей термоизолирующего СКЗ средства коллективной защиты работников  
 $L$  – длина модуля;  $d$  – диаметр металлического желоба;  $s$  – толщина пеностекла

Результаты проведенных исследований распределения температуры воздуха в рабочих зонах при использовании термоизолирующего средства коллективной

защиты работников в зависимости от толщины слоя пеностекла представлены на рисунке 4.3.

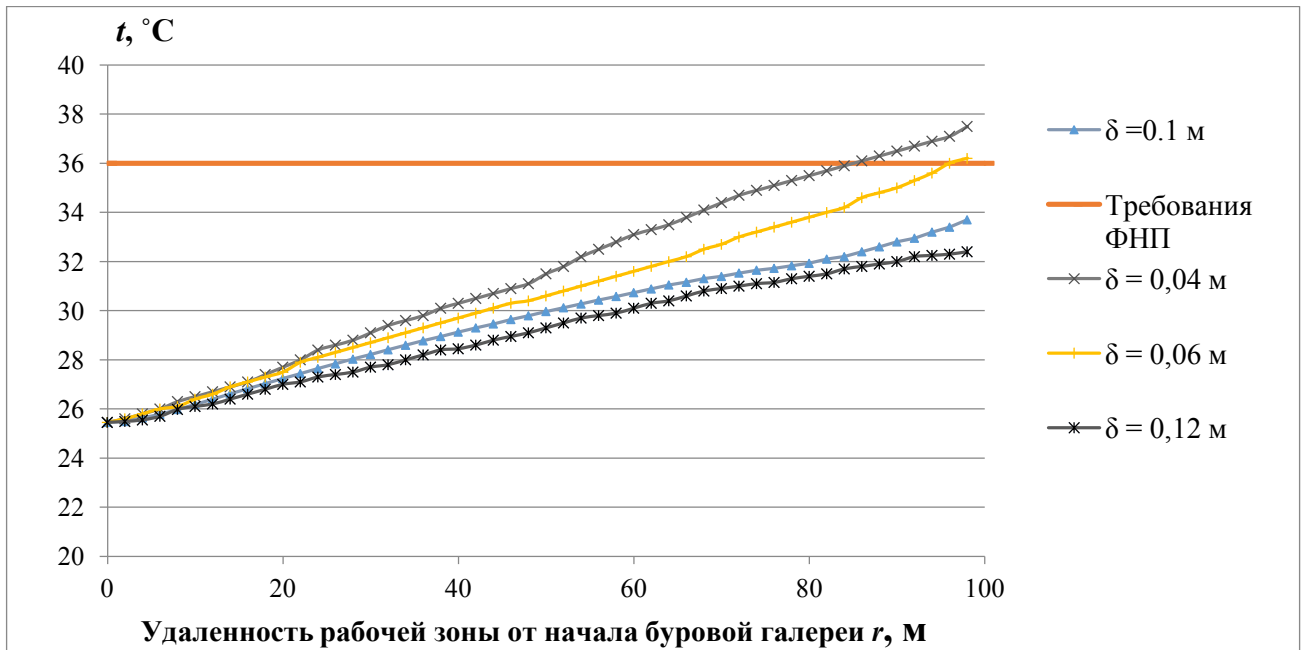


Рисунок 4.3 – График распределения температуры воздуха в рабочих зонах при использовании теплоизолирующего покрытия с толщиной слоя пеностекла  $\delta$  от 0,04 до 0,12 м.

Полученные результаты показали, что применение термоизолирующего средства, снижающего теплопоступления при транспортировке нефтесодержащей продукции с коэффициентом теплопроводности не более  $0,05 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$  и толщиной не менее  $0,1 \text{ м}$  снижает температуру воздуха в рабочих зонах буровых галерей нефтяных шахт до нормативных значений.

#### **4.3 Разработка алгоритма для оценки риска перегревания работников нефтяных шахт, учитывающего применение термоизолирующего средства коллективной защиты работников**

С целью практической реализации полученных результатов разработан алгоритм для оценки риска перегревания работников нефтяных шахт, ведущих горные работы в условиях нагревающего микроклимата. В нем учтены продолжительность эксплуатации уклонного блока и применение термоизолирующего средства коллективной защиты работников, снижающего теплопоступления при транспортировке нефтесодержащей продукции в буровой

галерее нефтяной шахты (рисунок 4.4). Работа с программным обеспечением начинается с ввода требуемых для расчета и определяющих развитие решения параметров. К ним относятся:  $T$  – продолжительность эксплуатации уклонного блока,  $\varphi$  – влажность воздуха рабочей зоны,  $cat$  – категория работ по энергозатратам,  $v$  – скорость движения воздуха. Расчет профессионального риска проводится одновременно как для случая применения покрытия, так и без него. Это необходимо для удобства эксплуатации программы и для большей наглядности влияния применения средства коллективной защиты в виде термоизолирующего покрытия системы открытой транспортировки НСП на изменение значений риска перегревания работников.

Алгоритм реализован в программном продукте «Программа для оценки риска перегревания работников нефтяных шахт с учетом использования термоизолирующих средств коллективной защиты» [69].



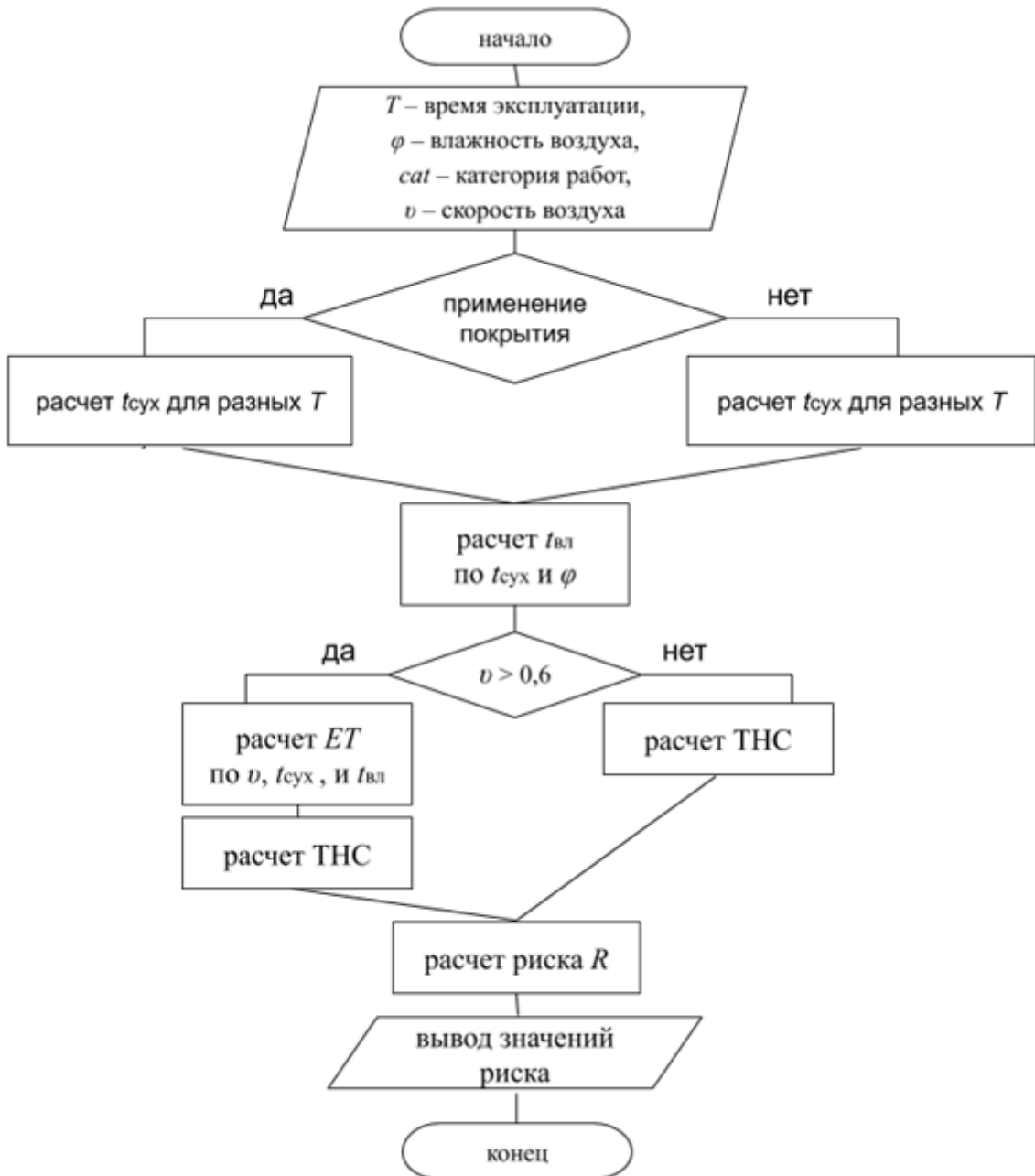


Рисунок 4.4 – Алгоритм для оценки риска перегревания работников нефтяных шахт, ведущих горные работы (обозначения раскрыты в тексте)

Оценка профессионального риска  $R$  связанного с воздействием нагревающего микроклимата, вызывающего накопление тепла в организме работника более 4,0 кДж/кг проводится по формуле [36, 83]:

$$R = f [Pr (D)] = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{Pr} e^{-\frac{t^2}{2}} dt \quad (4.3)$$

где  $Pr$  - пробит-функция, определяемая для разных категории работ по энергозатратам, установленных в СанПиН 2.2.4.548-96, для Ia:

$Pr = -37,230 + 11,112 \ln \text{ТНС}$ ; для Па:  $Pr = -33,716 + 10,337 \ln \text{ТНС}$ ; для Пб:  
 $Pr = -30,198 + 9,366 \ln \text{ТНС}$ ; ТНС – индекс тепловой нагрузки среды, °С.

ТНС-индекс – интегральный показатель тепловой нагрузки среды, который одновременно учитывает воздействие на работников таких показателей микроклимата как тепловое облучение, температура и влажность воздуха, скорости движения воздушного потока в рабочей зоне. Для определения ТНС-индекса при скорости движения воздуха в рабочих зонах не более 0,6 м/с следует использовать формулу:

$$\text{ТНС} = 0,7 t_{\text{вл}} + 0,3 t_{\text{ш}}, \text{ } ^\circ\text{С} \quad (4.4)$$

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

При скорости движения воздуха в рабочих зонах более 0,6 м/с необходимо использовать величину эффективной температуры  $ET$  для определения ТНС-индекса, используя формулу 4.5, где  $ET$  - интегральный показатель параметров нагревающего микроклимата, учитывающий различные скорости движения воздуха:

$$\text{ТНС} = 1,12 ET - 3,93 \quad (4.5)$$

Определить эффективную температуру для разных скоростей движения воздуха в рабочих зонах по известным температурам влажного ( $WBT$ ) и сухого ( $DBT$ ) термометров можно по номограмме, отражающей результаты ощущений человека при экспериментальных исследованиях (рисунок 4.5). По номограмме можно проследить изменение теплового ощущения в зависимости от окружающих работника микроклиматических параметров. К примеру, увеличение влажности воздуха замедляет процессы испарения влаги с кожи, поэтому для поддержания комфортного теплового состояния при повышенной влажности следует увеличивать скорость движения воздуха или снижать температуру воздуха.

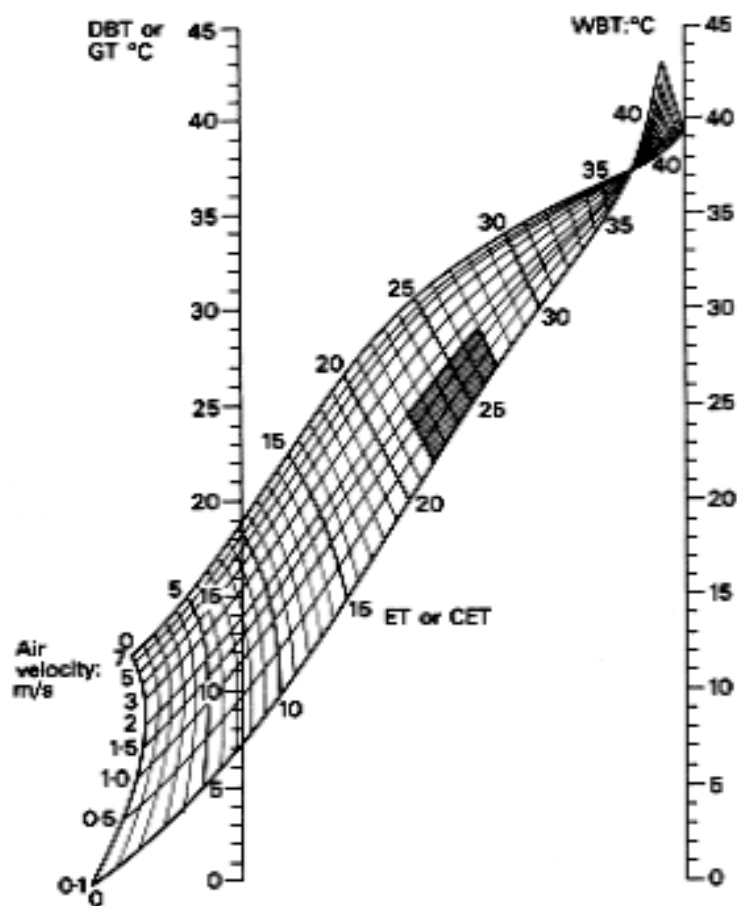


Рисунок 4.5 – Номограмма для определения эффективной температуры при разных значениях скорости воздуха

Для организации возможности применения данных номограммы в расчетах с использованием разработанной программы для ЭВМ, номограмма была переведена в формульный вид, где искомым значением стала эффективная температура. Эффективная температура для разных скоростей воздуха определяется по формуле:

$$ET = a + b \cdot t_{\text{вл}} + c \cdot t_{\text{сух}} + d \cdot t_{\text{вл}}^2 + e \cdot t_{\text{сух}} t_{\text{вл}}, \text{ } ^\circ\text{C} \quad (4.6)$$

где коэффициенты для скорости воздуха 1 м/с:  $a = -4.731$ ;  $b = 1.556$ ;  $c = -0.4941$ ;  $d = -0.03248$ ;  $e = 0.03392$ ; для скорости воздуха 1,5 м/с:  $a = -7.319$ ;  $b = 1.759$ ;  $c = -0.6122$ ;  $d = -0.03675$ ;  $e = 0.03774$ ; для скорости воздуха 2 м/с:  $a = -8.742$ ;  $b = 1.829$ ;  $c = -0.6466$ ;  $d = -0.03661$ ;  $e = 0.03743$ ; для скорости воздуха 3 м/с:  $a = -10.29$ ;  $b = 1.97$ ;  $c = -0.804$ ;  $d = -0.04114$ ;  $e = 0.04326$ ; для скорости воздуха 4 м/с:  $a = -11.25$ ;  $b = 2.098$ ;  $c = -0.9709$ ;  $d = -0.04466$ ;  $e = 0.04845$ .

Распределение температуры воздуха по сухому термометру  $t_{\text{сух}}$  по длине выработки определяется по результатам численного расчета для заданной продолжительности эксплуатации уклонного блока  $T$  с учетом применения термоизолирующего кожуха системы транспортировки нефтесодержащей жидкости или без него. Массивы полученных при расчетах данных представлены в виде зависимости, представленной формулой 4.7, что необходимо для разработки программного обеспечения.

$$t_{\text{сух}} = a \cdot x + b, \text{ } ^\circ\text{C} \quad (4.7)$$

где коэффициенты в случае применения термоизолирующего средства коллективной защиты: при  $T \in [0-2)$  года  $a = 0,0191$ ;  $b = 15,442$ ; при  $T \in [2-4)$  года  $a = 0,037$ ;  $b = 19,544$ ; при  $T \in [4-6)$  лет  $a = 0,0521$ ;  $b = 21,261$ ; при  $T \in [6-8)$  лет  $a = 0,0413$ ;  $b = 25,321$ ; при  $T$  более 8 лет  $a = 0,0448$ ;  $b = 25,87$ ; без применения термоизолирующего средства коллективной защиты: при  $T \in [0-2)$  года  $a = 0,0369$ ;  $b = 15,9$ ; при  $T \in [2-4)$  года  $a = 0,0546$ ;  $b = 19,945$ ; при  $T \in [4-6)$  лет  $a = 0,0572$ ;  $b = 22,267$ ; при  $T \in [6-8)$  лет  $a = 0,0475$ ;  $b = 26,434$ ; при  $T$  более 8 лет  $a = 0,0504$ ;  $b = 27,634$ ;

Температура воздуха по влажному термометру  $t_{\text{вл}}$  определяется на основании психометрической таблицы по значениям температуры воздуха по сухому термометру  $t_{\text{сух}}$  и влажности воздуха  $\varphi$  и также была переведена в численную зависимость для возможного использования при разработке программы для ЭВМ.

$$t_{\text{вл}} = 0,2101 \cdot \varphi^{0,3418} \cdot t_{\text{сух}} + 0,0533 \cdot \varphi - 5,4295, \text{ } ^\circ\text{C} \quad (4.8)$$

Примеры расчета риска перегревания работников для разной продолжительности эксплуатации уклонного блока, полученные в программе, приведены на рисунке 4.6.

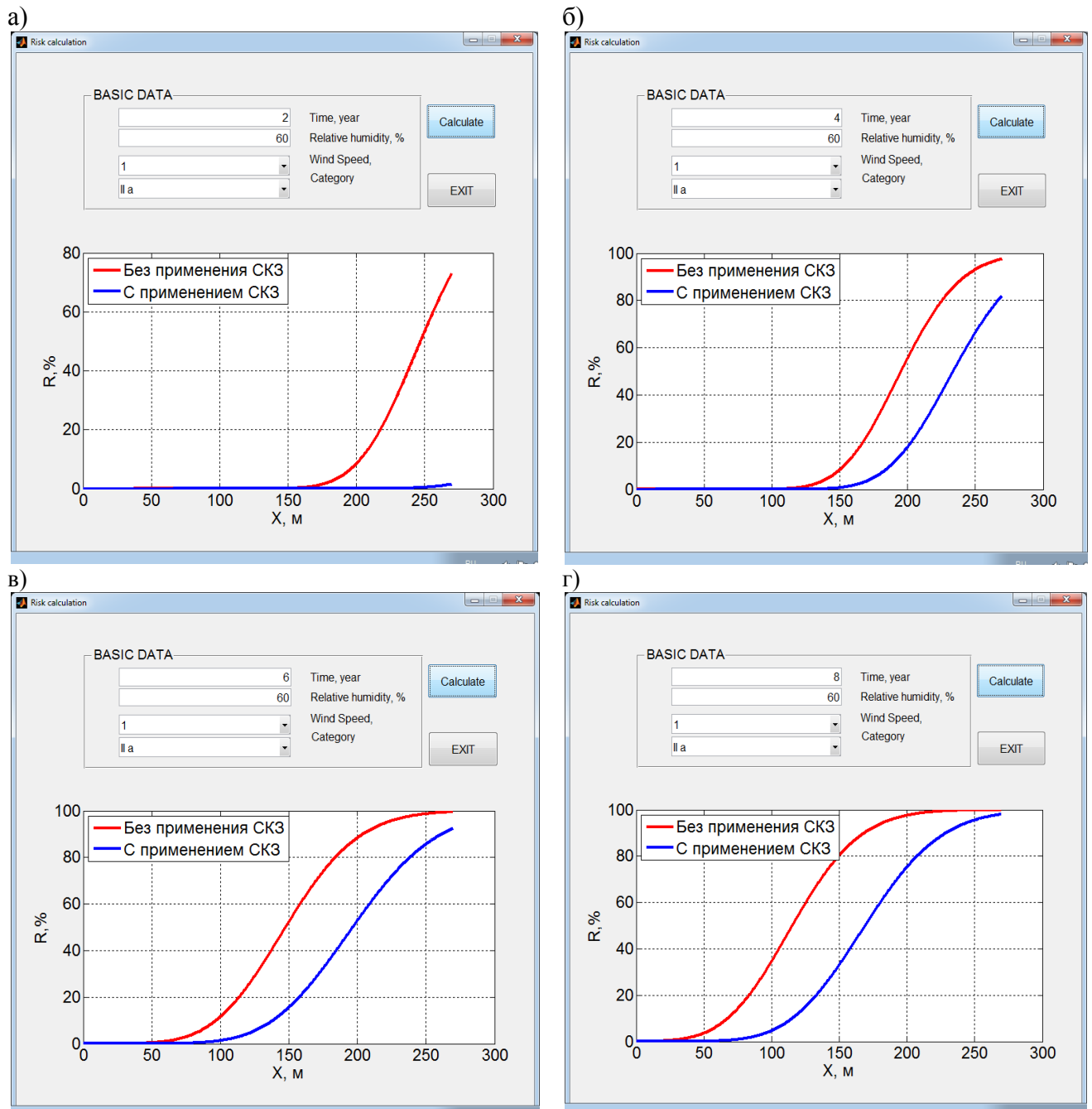


Рисунок 4.6 – Результаты расчета риска перегревания работников, полученные с помощью разработанного программного обеспечения, для продолжительности эксплуатации уклонного блока а) 2 года, б) 4 года, в) 6 лет, г) 8 лет,

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. Увеличение скорости воздуха в буровой галерее с 1 до 2 м/с снизит профессиональный риск на 12%. Проведение комплекса мероприятий – увеличение скорости воздуха и

применение термоизолирующего средства коллективной защиты снизит риск перегрева на 53%.

Расчет риска перегрева работников приведен с учетом проведения работ в выработках с повышенной температурой воздуха в течение всей рабочей смены. Снижение профессионального риска, обусловленного воздействием нагревающего микроклимата, говорит о результативности предлагаемых мероприятий по снижению влияния одного из основных источников тепловыделения. Однако для достижения еще более значительного улучшения условий труда работников, ведущих горные работы на нефтяных шахтах следует применять комплекс мероприятий, включающий использование термоизолирующих средств коллективной защиты работников от воздействия повышенных температур.

#### **4.4 Выводы по главе 4**

1. Выбор необходимых параметров материала для изготовления термоизолирующего средства коллективной защиты работников основывается на достижении снижения температуры его поверхности до 40 °С. Для определения подходящей толщины и коэффициента теплопроводности изоляционного материала используется график отражающий значения необходимых показателей изоляционного материала, обеспечивающих заданную температуру поверхности покрытия.

2. В связи с тем, что горные выработки, в которых необходимо применять термоизолирующие средства коллективной защиты работников, снижающие теплопоступления при транспортировке нефтесодержащей продукции, характеризуются наличием агрессивной химической среды и повышенной влажностью, при выборе материалов необходимо помимо теплоизоляционных свойств учитывать их физические характеристики и требования пожарной безопасности.

3. С целью практического применения на основании полученных результатов разработан алгоритм для оценки риска перегревания работников

нефтяных шахт, ведущих горные работы в условиях нагревающего микроклимата, учитывающий применение термоизолирующего средства коллективной защиты работников, снижающего теплоступления при транспортировке нефтесодержащей продукции, и продолжительности эксплуатации уклонного блока. На основе алгоритма написана программа для ЭВМ.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

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 тепlopоступлений 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 тепlopоступлений 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  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ , позволяет достичь снижения температуры воздуха в рабочих зонах до допустимых значений.

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



**СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Ажаев, А.Н. Физиолого-гигиенические аспекты действия высоких и низких температур / А.Н. Ажаев // Наука.– 1979. – 260 с.
2. Алабьев, В.Р. Основные направления развития способов и средств охлаждения воздуха в угольных шахтах Украины / В.Р. Алабьев // Вестник Забайкальского государственного университета.– 2014. – № 06(109). – С. 35-46.
3. Божилов, В. Тепло- и гидроизоляция – эффективное средство улучшения микроклимата в рудниках / В. Божилов, К. Петров // Доклады 9-й сессии Международного бюро по горной теплофизике. - Польша: Гливице, 2000 – С. 245-255.
4. Валущина, В.М. Особенности формирования тепловых поражений у горнорабочих глубоких угольных шахт Донбасса / В.М. Валущина, Л.Н. Ткаченко, Е.А. Асланова // Медицина труда и промышленная экология. – 1996. – № 4. – С. 4-8.
5. Волохина, А.Т. Выявление коренных причин несчастных случаев при добыче нефти шахтным способом/ А.Т. Волохина, Т.Н. Гуськова // Промышленный сервис. – 2017. – № 1 (62). – С. 43-46.
6. Воропаев, А.Ф. Управление тепловым режимом в глубоких шахтах. Госгортехиздат, 1961.–248 с.
7. Гендлер, С.Г. Теплофизические аспекты безопасности и эффективности при добыче полезных ископаемых и эксплуатации подземных сооружений в суровых климатических условиях / С.Г. Гендлер // Записки Горного института. – 2006.– С. 64-67.
8. Гигиенические основы профилактики неблагоприятного воздействия производственного микроклимата на организм человека: сборник научных трудов НИИ гигиены труда и профзаболеваний АМН СССР / под ред. Р.Ф. Афанасьевой. – Москва, 1992. – Вып. 43. – 226 с.
9. Глебова, Е.В. Автоматизированная система оценки профессионально важных качеств проходчиков нефтешахт для обеспечения безопасности объектов

добычи нефти шахтным способом / Е.В. Глебова, А.Т. Волохина, М.А. Гуськов, Т.Н. Гуськова // Безопасность жизнедеятельности. 2017. № 4 (196). С. 21-26.

10. Глебова, Е.В. Влияние производственных факторов при добыче нефти шахтным способом на профессиональный риск работников / Е.В. Глебова, А.Т. Волохина // Губкинский университет в решении вопросов нефтегазовой отрасли России Сборник трудов Региональной научно-технической конференции, посвященной 100-летию Московской горной академии. 2018. С. 35.

11. Глебова, Е.В. Обеспечение безопасности при добычи нефти шахтным способом на основе оценки профессионально важных качеств проходчиков нефтешахт / Е.В. Глебова, А.Т. Волохина, А.В. Алексеева, А.В. Ткач // Научные технологии и инновации (XXII научные чтения): материалы международной научно-технической конференции. – Белгород, 2016. – С. 13-23.

12. Глебова, Е.В. Оценка профессионального риска для здоровья проходчиков нефтешахт / Е.В. Глебова, А.Т. Волохина // Техносферная безопасность как комплексная научная и образовательная проблема. Материалы всероссийской конференции. Ответственный редактор С.В. Ефремов. 2019. С. 3-10.

13. Глебова, Е.В. Разработка и внедрение автоматизированной системы оценки профессионально важных качеств персонала объектов добычи нефти шахтным способом / Е.В. Глебова, А.Т. Волохина // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2017.– № S5-2. С. 326-338.

14. ГОСТ 12.4.176-89 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Одежда специальная для защиты от теплового излучения. Требования к защитным свойствам и метод определения теплового состояния человека – Техэксперт: проф. справ. системы – 1990 – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200012779> (дата обращения: 15.01.2019)

15. Гуляев, В.Э. Анализ технологических показателей систем термошахтной разработки Ярегского нефтяного месторождения / В.Э. Гуляев, Ю.П. Коноплев, И.В. Герасимов // Проблемы разработки и эксплуатации месторождений высоковязких нефтей и битумов: материалы межрегиональной научно-технической конференции. – Ухта: УГТУ, 2011.– С. 12-18.

16. Гуськова, Т.Н. Выявление профессионально важных качеств проходчиков нефтешахт, необходимых для безопасной производственной деятельности / Т.Н. Гуськова, А.Т. Волохина // Промышленный сервис. 2017.– № 4 (65).– С. 24-28.

17. Гуськова, Т.Н. Снижение производственного травматизма на объектах добычи нефти шахтным способом на основе компетентностного подхода к персоналу // Энергия молодежи для нефтегазовой индустрии материалы Международной научно-практической конференции молодых ученых. Альметьевский государственный нефтяной институт. 2017. – С. 285-289.

18. Гуськова, Т.Н. Выявление коренных причин несчастных случаев при добыче нефти шахтным способом / Т.Н. Гуськова, А.Т. Волохина // Промышленный сервис. – 2017. № 1 (62).– С. 43-46.

19. Гуськова, Т.Н. Выявление профессионально важных качеств проходчиков нефтешахт, необходимых для безопасной производственной деятельности. / Т.Н. Гуськова, А.Т. Волохина // Промышленный сервис. – 2017. – № 4 (65). – С. 24-28.

20. Данилова, Е. Тяжёлые нефти России. Российская Федерация стоит на пороге масштабного расширения добычи природных битумов и внедрения отечественных разработок / Е. Данилова // Сырьё.– 2008.– С. 34-37.

21. 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.– СПб, 2018.– С. 33.

22. 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.

23. Дядькин, Ю.Д. Актуальные проблемы горной теплофизики / Ю.Д. Дядькин // Записки Горного института.– 1975.– том 67, вып. 1.– С. 20-30.
24. Дядькин, Ю.Д. Горная теплофизика. Регулирование теплового режима шахт и рудников / Ю.Д. Дядькин, Ю.В. Шувалов, Ю.С. Тимофеевский.– Ленинград: ЛГИ, 1976.–159 с.
25. Дядькин, Ю.Д. Основы горной теплофизики для шахт и рудников Севера / Ю.Д. Дядькин.– Недра, 1968.–256 с.
26. Дядькин, Ю.Д. Тепловой режим рудных, угольных и россыпных шахт Севера. / Ю.Д. Дядькин, А.Ф. Зильберборд, П.Д. Чабан. М.– Наука, 1968. – 172 с.
27. Дядькин, Ю.Д. Тепловые процессы в горных выработках: Учеб. Пособие / Ю.Д. Дядькин, Ю.В. Шувалов, С.Г. Гендлер.– Ленинград: ЛГИ, 1978. – 104 с.
28. Жигалов, В.С. практические методы нормализации теплового режима в буровых галереях нефтяных шахт Ярегского месторождения / В.С. Жигалов // Стратегия и процессы освоения георесурсов.– 2017.– С. 333-336.
29. Закс, С.Л. Основы горного дела и шахтной добычи нефти / С.Л. Закс. – Москва: Гостоптехиздат, 1954. – 358 с.
30. Захаров, Д.Ю. Оценка влияния функционального состояния персонала на риски возникновения аварийных ситуаций на объектах нефтегазового комплекса / Д.Ю. Захаров, И.В. Климова, Я.В. Щербатюк // Электронный журнал «Нефтегазовое дело». – 2017. – № 4. – С. 152-164.
31. Исаевич, А.Г. Регулирование теплового режима атмосферы рабочих зон при термошахтной отработке пластов неглубокого залегания / А.Г. Исаевич, Н.А. Трушкова, А.В. Шалимов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал).– 2012. Т.29. №1.– С.97-100.
32. Искрицкая, Н.И. Зарубежный опыт практического освоения запасов тяжелых высоковязких нефтей и природных битумов / Н.И. Искрицкая // Комплексное изучение и освоение сырьевой базы нефти и газа Севера европейской части России: сборник материалов научно-практической конференции.– 2012. – С. 271-276.
33. Казаков, Б.П. Современные подходы к разработке способов управления

тепловым режимом рудников при высокой температуре породного массива / Б.П. Казаков, Л.Ю. Левин, А.В. Зайцев // Горный журнал.– 2014, № 5.– С. 22-25.

34. Климова, И.В. Инструктивная карта как инструмент предупреждения аварий, инцидентов, производственного травматизма на объектах добычи и транспортировки нефти и газа / И.В.Климова, Р.И.Фатхутдинов // Нефтегазовое дело. – 2016. – № 4. – Т. 14. – С. 195-200

35. Климова, И.В. Инструктивные карты безопасных методов и приемов труда для отдельных видов работ, проводимых в нефтешахте // Записки Горного института. – 2017. –Т. 225. – С. 354-359.

36. Климова, И.В. Оценка профессиональных рисков от воздействия химического фактора, параметров нагревающего микроклимата при ведении горных работ на нефтяных шахтах / И.В. Климова, И.С. Степанов // Промышленная безопасность предприятий минерально-сырьевого комплекса в XXI веке: III Международная научно-практическая конференция: тезисы докладов, (г. Санкт-Петербург, 20-21 окт. 2016). – Санкт-Петербург, 2016. – С. 136-137.

37. Климова, И.В. Применение методов нечеткого моделирования для оценки эффективности производственного контроля / И.В. Климова, Ю.Г. Смирнов, Р.И. Фатхутдинов // Безопасность труда в промышленности. – 2019. – № 2. – С. 54-59.

38. Климова, И.В. Применение методов нечеткого моделирования для решения задач техносферной безопасности // Горный информационный аналитический: науч.-техн. журн. – 2019. – № 4; Спец. вып. 7. – С. 87-98.

39. Климова, И.В. Развитие методов оценки профессиональных рисков по химическому фактору, по фактору нагревающего микроклимата при ведении горных работ на нефтяных шахтах / И.В. Климова, И.С. Степанов // Горный информационно-аналитический бюллетень: науч.-техн. журн. – 2017. – № 4; Спец. вып. 5-2. – С. 348-356.

40. Клюкин, Ю.А. Исследование влияния способа транспортировки нефтесодержащей жидкости на микроклиматические условия в нефтяной шахте /

Ю.А. Клюкин, М.А. Семин, Л.Ю. Левин // Материалы X Всероссийской научно-технической конференции "Проблемы разработки месторождений углеводородных и рудных полезных ископаемых". – 2017. – С. 371-373.

41. Клюкин, Ю.А. Математическое моделирование процессов тепломассопереноса в уклонных блоках нефтяных шахт / Ю.А. Клюкин // Стратегия и процессы освоения георесурсов: сб. науч. тр.– 2017. Вып. 15. – С. 305-310.

42. Клюкин, Ю.А. Разработка методики проектирования систем кондиционирования воздуха протяженных буровых галерей нефтешахт / Ю.А. Клюкин // Стратегия и процессы освоения георесурсов: сб. науч. тр.– 2016.– Вып.14.– С. 278-280.

43. Коноплев, Ю.П. Термошахтная разработка нефтяных месторождений / Ю.П. Коноплев. – Москва: Недра, 2006. – 288 с.

44. 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. 2018.– С. 332-337.

45. 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 2017.– С. 119.

46. Круглов, Ю.В. Варианты применения закрытой системы сбора нефти, работающей в автоматическом режиме, в нефтяных шахтах / Ю.В. Круглов // Стратегия и процессы освоения георесурсов: сб. науч. тр.– 2017.– Вып. 15 – С. 329-332.

47. Круглов, Ю.В. Разработка закрытой системы сбора нефти, работающей в автоматическом режиме, для условий нефтяных шахт Ярегского месторождения

шахтах / Ю.В. Круглов // Стратегия и процессы освоения георесурсов: сб. науч. тр. Вып. 14 / ГИ УрО РАН. – Пермь, 2016. – С. 294-297.

48. Кувшинова, Н., Битумы заждались / Н. Кувшинова, А. Москвин // Нефть России.–2003.– №3.– С.34-37.

49. Левин, Л.Ю. Математическое прогнозирование микроклиматических параметров в горных выработках нефтяных шахт / Л.Ю. Левин, А.В. Зайцев, Ю.А. Ключкин, М.А. Семин // Известия ТулГУ, Науки о Земле.– 2018.– Вып. 4.– С. 294-309.

50. Левин, Л.Ю. Оценка эффективности системы распределенной подачи охлажденного воздуха как способа управления микроклиматическими параметрами шахт / Л.Ю. Левин, М.А. Семин, Ю.А. Ключкин // Горный информационно-аналитический бюллетень (научн.-техн. журнал).– 2013.– №12.– С. 185-189.

51. Левин, Л.Ю. Разработка математических методов прогнозирования микроклиматических условий в сети горных выработок произвольной топологии / Л.Ю. Левин, М.А. Семин, А.В. Зайцев // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых.– 2014.– № 2.– С. 154-161.

52. Литвинский, Г.Г., Мартынов, А.А. Устройство для теплоизоляции и герметизации выработок. – Патент № 60721А Украины E21F3/00, бюл. №10.— 2004.

53. Макаревич, В.Н. Ресурсный потенциал месторождений тяжелых нефтей Европейской части Российской Федерации / В.Н. Макаревич, Н.И. Истрицкая, С.А. Богословский // Нефтегазовая геология: теория и практика. – 2012. – Т.7. – №3. – С. 1-16.

54. Мартынов А.А. Комплексный подход в решении проблемы высоких температур воздуха в выработках глубоких шахт / А.А. Мартынов, Н.В. Малеев, А.К. Яковенко // Школа подземной разработки. Материалы VI Международной научно-практической конференции.– 2012. – С. 39-47.

55. Мартынов, А.А. Перспективные системы кондиционирования воздуха в выработках глубоких шахт / А.А. Мартынов, А.К. Яковенко, А.В. Мартовицкий //

Известия Донецкого горного института.– 2001 – № 2. – С. 91-96.

56. Мартынов, А.А. Перспективы теплогидроизоляции и укрепления горного массива в глубоких угольных шахтах специальными двухкомпонентными составами / А.А. Мартынов, Н.В. Малеев, В.С. Захаров, И.Б. Тулуб // Известия Донецкого горного института: Всеукраинский научно-технический журнал горного профиля.– 2003, №2.– С.44-47.

57. Мартынов, А.А. Способы и направления улучшения температурных условий в глубоких шахтах / А.А. Мартынов, Н.В. Малеев, А.К. Яковенко, В.А. Орищак // Уголь Украины. – 2010. – № 5. – С. 20-26

58. Мартынов, А.А. Способы уменьшения теплоотдачи горного массива и потерь холода при нормализации тепловых условий в глубоких шахтах / А.А. Мартынов, Г.Г. Литвинский, А.В. Мартовицкий // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал).– 2005.– Т.29.– №1.– С. 83-90.

59. Морозюк, О.А. Пути повышения эффективности термошахтной разработки залежей аномально вязкой нефти (на примере Ярегского месторождения): дис. ... канд. техн. наук. Ухта, 2011.– 136 с.

60. МУК 4.3.2756-10. 4.3. Методы контроля. Физические факторы. Методические указания по измерению и оценке микроклимата производственных помещений [Электронный ресурс]. утв. Главным гос. санитарным врачом РФ. – Введ. 2010–11–12 // Техэксперт: проф. справ. системы. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200085911>

61. Николаев, А.В. Способ отдельного проветривания уклонных блоков и подземных горных выработок нефтяной шахты / А.В. Николаев // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2016. – Т.15, №20. – С.293–300.

62. Николаев, А.В., Файнбург, Г.З. Об энерго- и ресурсосберегающем проветривании подземных горных выработок нефтешахт / А.В. Николаев, Г.З. Файнбург // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2015. –



№ 14. – С. 92–98.

63. Николин, И.В. Методы разработки тяжелых нефтей и природных битумов / И.В. Николин // Наука – фундамент решения технологических проблем развития России. – 2007. – №2. – С. 54-68.

64. Нор, Е.В. Прогнозная оценка пылегазового режима воздуха рабочих зон нефтяных шахт при паротепловом воздействии на пласт (на примере Ярегского месторождения высоковязкой нефти): дис. ... канд. техн. наук. / Нор Елена Владимировна.– Ухта, 2004.–130 с.

65. Оноприюк, В., Голиков, Д., Горячая нефть Яреги / В. Оноприюк, Д. Голиков // Трубопроводный транспорт нефти.– № 1.–2017.– С. 42-45.

66. Отчет по договору № 11У1835 «Проведение комплекса работ по воздушно-депресссионным съемкам, разработке расчетных вентиляционных сетей и электронных планов ликвидации аварий на нефтешахтах №№ 1, 2, 3 НШУ «Яреганефть» Пермь 2011.

67. Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 21.06.2016 №81 "Об утверждении СанПиН 2.2.4.3359-16 "Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах" – Техэксперт: проф. справ. системы. – 2017.

URL: <http://docs.cntd.ru/document/420362948> (дата обращения: 26.03.2019)

68. Приказ Минтруда России 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 изм. на 14 нояб. 2016г. – Техэксперт: проф. справ. системы. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/499072756> (дата обращения: 26.03.2019)

69. 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.

70. Р 2.2.2006-05. 2.2. Гигиена труда. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда – 2005 – Техэксперт: проф. справ. системы. –

URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200040973> (дата обращения: 26.03.2019)

71. Родак, ВП. Регулирование теплового режима нефтяного пласта и горных выработок при добыче нефти шахтным способом на Ярегском месторождении: дис. .... канд. техн. наук: 05.15.11 / Родак Владимир Прокофьевич. – СПб., 1996. – 165 с.

72. 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.

73. 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.– СПб, 2018.– С. 142-145.

74. Рузин, Л.М. Оценка эффективности применяемых технологий теплового воздействия на пласт Ярегского месторождения / Л.М. Рузин, А.И. Куклин // Интервал.– 2002.–№ 6.– С. 33-39.

75. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. 2.2.4. Физические факторы производственной среды – 1996 – URL: <http://docs.cntd.ru/document/901704046> (дата обращения: 20.11.2018)

76. Саушкина, К.С. Освоение запасов битуминозной нефти: международный опыт и перспективы для России / К.С. Саушкина // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и Технические Науки.– 2014.– №07-08.– С. 44-47.

77. Свод правил 61.13330.2012 Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов. Актуализированная редакция СНиП 41-03-2003. – 2013 – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200091050> (дата обращения: 14.04.2019)

78. Седнев, Д.Ю. Практические вопросы применения теплоизоляционной крепи в условиях буровых галерей нефтяных шахт / Д.Ю. Седнев // Стратегия и процессы освоения георесурсов.– 2017.– С. 337-340.

79. Седнев, Д.Ю. Критерий протяженности горных выработок по тепловому фактору при проектировании уклонных блоков нефтяных шахт / Д.Ю. Седнев // Актуальные проблемы повышения эффективности и безопасности эксплуатации горношахтного и нефтепромыслового оборудования.– 2015.– Т.1.– С. 205-209.

80. Седнев, Д.Ю. О возможности применения частичной теплоизоляции горных выработок уклонных блоков нефтешахт Ярегского месторождения для повышения энергоэффективности процесса добычи / Д.Ю. Седнев, С.Н. Кривошеков // Проблемы геологии и освоения недр: тр. XVIII Междунар. симп. им. акад. М.А. Усова студентов и молодых ученых. –2014.– Т.2.– С. 472–474.

81. Седнев, Д.Ю. Регулирование подачи воздуха в буровых галереях нефтешахт Ярегского месторождения / Д.Ю. Седнев, А.А. Клейменова, А.М. Седунин // Пермский национальный исследовательский политехнический университет. – 2007. – С. 575-577.

82. Способы и направления улучшения температурных условий в глубоких шахтах /А.А. Мартынов, Н.В. Малеев, А.К. Яковенко, В.А. Орищак // Уголь Украины.– 2010.– № 5.– С.20-26.

83. Степанов И.С. Обоснование метода оценки профессионального риска для условий нагревающего микроклимата при проведении горных работ на нефтяных шахтах: дис. ... канд. техн. наук: 05.26.01 / Степанов Игорь Сергеевич. – СПб., 2018. – 131 с.

84. СТО ЛУКОЙЛ 1.6.6-2016 Система управления промышленной безопасностью, охраной труда и окружающей среды. Управление рисками и экологическими аспектами.– Введ. 2016–05–17. – 66 с.

85. Суворов, Г.А. Микроклимат промышленных и гражданских зданий / Г.А. Суворов, Р.Ф. Афанасьева, Ю.Д. Губернский.– под ред. Н.Ф. Измерова.– Москва, 1999. –187 с.

86. Сучков, А.Н. Технология изоляции стенок Подземных выработок / А.Н. Сучков, П.П. Шведик // Уголь Украины. – 2000.–№1. – С. 20-22.

87. Тарасова, Л.А. Особенности формирования периферических нейрососудистых нарушений у проходчиков в условиях охлаждающего микроклимата / Л.А. Тарасова, Л.М. Комлева, В.Н. Думкин, Т.К. Лосик // Медицина труда и промышленная экология.– 1994. – № 12. – С. 14-17.

88. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ – Техэксперт: проф. справ. системы. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/901807664> (дата обращения: 29.01.2019)

89. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности при разработке нефтяных месторождений шахтным способом» – 2016 – URL: <http://docs.cntd.ru/document/420385052> (дата обращения: 23.05.2018)

90. Цхадая, Н.Д. Комплексная оценка условий труда в нефтяных шахтах при паротепловом воздействии на пласт. СПб: Изд-во СПбГУ, 1997. 120 с.

91. Цхадая, Н.Д., Критерий оценки оптимальных условий труда в горных выработках нефтяных шахт / Н.Д. Цхадая, А.Е. Жуйков, З.Х. Ягубов // Электронный научный журнал Нефтегазовое дело.–2012.– № 5.– С. 318-325.

92. Чеботарёв, А.Г. Физиолого-гигиеническая оценка микроклимата на рабочих местах в шахтах и карьерах и меры профилактики его неблагоприятного воздействия / А.Г. Чеботарёв, Р.Ф. Афанасьева // Горная промышленность. – 2012. – № 6. – С. 34-40.

93. 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.

94. Шувалов, Ю.В. Регулирование теплового режима шахт и рудников Севера / Ю.В. Шувалов. – Л.: Изд-во ЛГУ, 1988.– 192 с.

95. Шувалов, Ю.В. Тепловой режим шахт и рудников / Ю.В. Шувалов, А.П. Васильев, В.П. Родак // Уголь. – 1994.– №2 – С. 16-17.

96. Щербань, А.Н. Основы теории и методы тепловых расчетов рудничного воздуха / А.Н. Щербань. – М.; Харьков: Углетехиздат, 1953. – 308 с.

97. Ягубов, З.Х. Оптимизация параметров технических средств систем контроля и управления при шахтной добыче нефти / З.Х. Ягубов. – Л. Изд-во Ленингр. ун-та, 1994.–168 с.

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

99. Collins, K.J. Cold stress and cardiovascular reactions: Problems with Cold Work / Ed.I. Holmer, K. Kuklane // Arbetslivsinstitutet. – 1988. – №18. – Pp.166-171.

100. Holmer, I. Evaluation of thermal stress in cold regions – a strain assessment strategy: Problems with Cold Work / Ed.I. Holmer, K. Kuklane // Arbetslivsinstitutet. – 1988. – No. 18. – Pp.31-38.

101. Hunt, A.P. Symptoms of heat illness in surface mine workers / A.P. Hunt, A.W. Parker, I.B. Stewart // International Archives of Occupational and Environmental Health. – 2013. – № 85(5). – Pp. 519-527.

**ГОСТ 12.4.011-89 Межгосударственный стандарт**  
**Система стандартов безопасности труда. Средства защиты работающих.**  
**Общие требования и классификация.**

ГОСТ 12.4.011-89

Группа Т58

**МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ**

Система стандартов безопасности труда

**СРЕДСТВА ЗАЩИТЫ РАБОТАЮЩИХ**

Общие требования и классификация

Occupational safety standards system. Means of protection.

General requirements and classification

ОКСТУ 0012

Дата введения 1990-07-01

**ИНФОРМАЦИОННЫЕ ДАННЫЕ**

1. ВНЕСЕН Государственным комитетом СССР по стандартам, Всесоюзным Центральным Советом Профессиональных Союзов
2. Постановлением Государственного комитета СССР по управлению качеством продукции и стандартам от 27.10.89 N 3222 стандарт Совета Экономической Взаимопомощи СТ СЭВ 1086-88 "Охрана труда. Средства защиты работающих. Классификация и общие требования" введен в действие непосредственно в качестве государственного стандарта СССР с 01.07.90

## 3. ВЗАМЕН ГОСТ 12.4.011-87

## 4. ССЫЛОЧНЫЕ НОРМАТИВНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ДОКУМЕНТЫ

| Обозначение НТД, на который дана ссылка | Номер пункта |
|---|--------------|
| ГОСТ 12.4.013-85                        | 1.2          |
| ГОСТ 12.4.023-84                        | 1.2          |
| ГОСТ 12.4.034-85                        | 1.2          |
| ГОСТ 12.4.064-84                        | 1.2          |
| ГОСТ 12.4.068-79                        | 1.2          |
| ГОСТ 12.4.103-83                        | 1.2          |
| ГОСТ 12.4.115-82                        | 2.8          |

5. Ограничение срока действия снято по протоколу N 4-93 Межгосударственного Совета по стандартизации, метрологии и сертификации (ИУС 4-94)

## 6. ПЕРЕИЗДАНИЕ. Август 2001 г.

Настоящий стандарт распространяется на средства, применяемые для предотвращения или уменьшения воздействия на работающих опасных и вредных производственных факторов, и устанавливает классификацию и общие требования к средствам защиты работающих.

## 1. КЛАССИФИКАЦИЯ

1.1. Средства защиты работающих в зависимости от характера их применения подразделяют на две категории: средства коллективной защиты; средства индивидуальной защиты.

Перечень основных видов средств защиты, входящих в классы, приведен в приложении.

1.1.1. Средства коллективной защиты в зависимости от назначения подразделяют на классы:

- средства нормализации воздушной среды производственных помещений и рабочих мест (от повышенного или пониженного барометрического давления и его резкого изменения, повышенной или пониженной влажности воздуха, повышенной или пониженной ионизации воздуха, повышенной или пониженной

концентрации кислорода в воздухе, повышенной концентрации вредных аэрозолей в воздухе);

- средства нормализации освещения производственных помещений и рабочих мест (пониженной яркости, отсутствия или недостатка естественного света, пониженной видимости, дискомфорта или слепящей блескости, повышенной пульсации светового потока, пониженного индекса цветопередачи);

- средства защиты от повышенного уровня ионизирующих излучений;

- средства защиты от повышенного уровня инфракрасных излучений;

- средства защиты от повышенного или пониженного уровня ультрафиолетовых излучений;

- средства защиты от повышенного уровня электромагнитных излучений;

- средства защиты от повышенной напряженности магнитных и электрических полей;

- средства защиты от повышенного уровня лазерного излучения;

- средства защиты от повышенного уровня шума;

- средства защиты от повышенного уровня вибрации (общей и локальной);

- средства защиты от повышенного уровня ультразвука;

- средства защиты от повышенного уровня инфразвуковых колебаний;

- средства защиты от поражения электрическим током;

- средства защиты от повышенного уровня статического электричества;

- средства защиты от повышенных или пониженных температур поверхностей оборудования, материалов, заготовок;

- средства защиты от повышенных или пониженных температур воздуха и температурных перепадов;

- средства защиты от воздействия механических факторов (движущихся машин и механизмов; подвижных частей производственного оборудования и инструментов; перемещающихся изделий, заготовок, материалов; нарушения целостности конструкций; обрушивающихся горных пород; сыпучих материалов; падающих с высоты предметов; острых кромок и шероховатостей поверхностей заготовок, инструментов и оборудования; острых углов);



- средства защиты от воздействия химических факторов;
- средства защиты от воздействия биологических факторов;
- средства защиты от падения с высоты.

1.1.2. Средства индивидуальной защиты в зависимости от назначения подразделяют на классы:

- костюмы изолирующие;
- средства защиты органов дыхания;
- одежда специальная защитная;
- средства защиты ног;
- средства защиты рук;
- средства защиты головы;
- средства защиты лица;
- средства защиты глаз;
- средства защиты органа слуха;
- средства защиты от падения с высоты и другие предохранительные средства;
- средства дерматологические защитные;
- средства защиты комплексные.

1.2. Классификация средств индивидуальной защиты в зависимости от опасных и вредных производственных факторов - по ГОСТ 12.4.064\*, ГОСТ 12.4.034\*\*, ГОСТ 12.4.103, ГОСТ 12.4.023, ГОСТ 12.4.013\*\*\* и ГОСТ 12.4.068.

## 2. ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ

2.1. Средства защиты работающих должны обеспечивать предотвращение или уменьшение действия опасных и вредных производственных факторов.

2.2. Средства защиты не должны быть источником опасных и вредных производственных факторов.

2.3. Средства защиты должны отвечать требованиям технической эстетики и эргономики.

2.4. Выбор конкретного типа средства защиты работающих должен осуществляться с учетом требований безопасности для данного процесса или вида работ\*.

---

\* Виды средств защиты в зависимости от конкретного опасного и вредного фактора или от конструктивных особенностей подразделяют на типы.

2.5. Средства индивидуальной защиты следует применять в тех случаях, когда безопасность работ не может быть обеспечена конструкцией оборудования, организацией производственных процессов, архитектурно-планировочными решениями и средствами коллективной защиты.

2.6. Средства индивидуальной защиты не должны изменять своих свойств при их стирке, химчистке и обеззараживании.

2.7. Средства индивидуальной защиты должны подвергаться оценке по защитным, физиолого-гигиеническим и эксплуатационным показателям.

2.8. Требования к маркировке средств индивидуальной защиты должны соответствовать ГОСТ 12.4.115 и стандартам на маркировку на конкретные виды средств индивидуальной защиты.

2.9. Средства индивидуальной защиты должны иметь инструкцию с указанием назначения и срока службы изделия, правил его эксплуатации и хранения.

2.10. Средства коллективной защиты работающих конструктивно должны быть соединены с производственным оборудованием или его элементами управления таким образом, чтобы, в случае необходимости, возникло принудительное действие средства защиты.

Допускается использовать средства коллективной защиты в качестве элементов управления для включения и выключения производственного оборудования.

2.11. Средства коллективной защиты работающих должны быть расположены на производственном оборудовании или на рабочем месте таким образом, чтобы постоянно обеспечивалась возможность контроля его работы, а также безопасность ухода и ремонта.

ПРИЛОЖЕНИЕ (СПРАВОЧНОЕ). ПЕРЕЧЕНЬ ОСНОВНЫХ ВИДОВ СРЕДСТВ  
ЗАЩИТЫ РАБОТАЮЩИХ (приведены выдержки)

1. Средства коллективной защиты

1.1. К средствам нормализации воздушной среды производственных помещений и рабочих мест относятся устройства для:

- поддержания нормируемой величины барометрического давления;
- вентиляции и очистки воздуха;
- кондиционирования воздуха;
- локализации вредных факторов;
- отопления;
- автоматического контроля и сигнализации;
- дезодорации воздуха.

1.15. К средствам защиты от пониженных или повышенных температур поверхностей оборудования, материалов и заготовок относятся устройства:

- оградительные;
- автоматического контроля и сигнализации;
- термоизолирующие;
- дистанционного управления.

1.16. К средствам защиты от повышенных или пониженных температур воздуха и температурных перепадов относятся устройства:

- оградительные;
- автоматического контроля и сигнализации;
- термоизолирующие;
- дистанционного управления;
- для радиационного обогрева и охлаждения.