

Дополнительной задачей, решавшейся в ходе данного исследования, была задача определения оптимальных мест расположения эжекторных установок в поперечном сечении транспортного штрека по критерию наискорейшего выноса вредных примесей из тупиковой камеры. Для этого проведено численное моделирование нестационарного распределения аэрогазодинамических параметров в трехмерной постановке. Результаты моделирования представлены на рис. 3.

Результаты моделирования показывают, что размещение источника тяги (вентилятора-эжектора) у ближней стенки (по отношению к устью камеры) на 30-40% улучшают условия диффузионного выноса вредных примесей.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда в рамках научного проекта № 19-77-30008.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Макеев А.В. Обеспечение безопасности горных работ на шахте ОАО «Кнауф Гипс Новомосковский» // Записки Горного института. – 2005. – Т. 164. – С. 102-106.
2. Казаков Б.П., Шалимов А.В., Семин М.А., Гришин Е.Л., Трушкова Н.А. Конвективная стратификация воздушных потоков по сечению горных выработок, ее роль в формировании пожарных тепловых депрессий и влияние на устойчивость проветривания // Горный журнал. – 2014. – №12. – С. 105-109.
3. Левин Л.Ю., Семин М.А., Газизуллин Р.Р. Разработка метода расчета местных аэродинамических сопротивлений при решении сетевых задач воздухораспределения // Горн. информ.-аналит. бюл. – 2014. – № 9. – С. 200-205.
4. Казаков Б.П., Семин М.А., Мальцев С.В. Математическое моделирование проветривания панелей гипсовой шахты эжекторными установками // Изв. Тульского гос. ун-та. Науки о Земле. – 2018. – № 3. – С. 245-255.
5. Исаевич А.Г. Актуальные вопросы организации проветривания тупиковых выработок // Стратегия и процессы освоения георесурсов: сб. науч. тр. Вып. 14 / ГИ УрО РАН. – Пермь, 2016. – С. 266-268.
6. Казаков Б.П., Исаевич А.Г., Мальцев С.В., Семин М.А. Автоматизированная обработка данных воздушно-депресссионной съемки для построения корректной математической модели вентиляционной сети рудников // Изв. вузов. Горн. журн. – 2016. – № 1. – С. 22-30.

УДК 622.4

DOI:10.7242/echo.2019.4.26

МЕТОДЫ БОРЬБЫ С ПОВЫШЕННЫМИ ТЕМПЕРАТУРАМИ ШАХТНОЙ АТМОСФЕРЫ В РАБОЧИХ ЗОНАХ НЕФТЯНЫХ ШАХТ ЯРЕГСКОГО НЕФТЯНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Ю.В. КРУГЛОВ

Горный институт УрО РАН, г. Пермь

Аннотация: Одной из наиболее сложных задач, с решением которых сталкивается НШПП «Яреганефть» ООО «ЛУКОЙЛ-Коми» (Республика Коми, г. Ухта), являющееся единственным в мире предприятием, осуществляющим добычу тяжелой высоковязкой нефти термошахтным способом, является разработка технологии поддержания температуры шахтного воздуха в пределах значений, определяемых современными нормами промышленной безопасности. Нарастание объемов добычи тяжелой нефти на Ярегском нефтяном месторождении, сопровождающееся увеличением объемов закачиваемого в нефтяной пласт перегретого пара, влечет за собой рост температур воздуха в рабочих зонах, приводящий к ухудшению условий труда персонала нефтяных шахт, падению производительности его работы и снижению уровня безопасности ведения горных и нефтедобычных работ, что в конечном итоге приводит к ухудшению показателей нефтедобычи. В статье дана краткая технико-экономическая оценка эффективности различных способов борьбы с тепловыделениями и нормализации температурных параметров атмосферы в горных выработках применительно к условиям Ярегского нефтяного месторождения, а также рассмотрены наиболее перспективные из них.

Ключевые слова: нефтяная шахта, шахтная атмосфера, рудничная вентиляция, теплоизоляция горных выработок, кондиционирование горных выработок, проветривание шахты

Ярегское нефтетитановое месторождение было открыто в 1932 г. на территории современной Республики Коми и располагается в 18 км от г. Ухты. В настоящее время на данном месторождении ведется активная промышленная разработка тяжелой высоковязкой нефти методом термошахтной добычи.

Нефть Ярегского месторождения относится к нафтеноароматическим. Продуктивный девонский пласт залегает на глубине 130 — 220 м, его средняя нефтенасыщенная толщина — 26 м. Легкие фракции, выкипающие до 200 °С, отсутствуют. Динамическая вязкость ярегской нефти при естественной пластовой температуре (+8 °С) составляет 12 Па·с. Плотность нефти в пластовых условиях равна 933 кг/м³, дегазированной — 945 кг/м³, объемный коэффициент равен 1,02.

В период с 1939 по 1972 гг. разработка нефти на Ярегской площади осуществлялась путем использования естественной энергии пласта («ухтинская» и более прогрессивная уклонно-скважинная системы разработки). Всего на естественном режиме истощения энергии пласта шахтным способом в этот период было добыто 7 448 тыс. т нефти при среднем коэффициенте извлечения, равном 0,035.

В 1972 г. на Ярегском месторождении впервые были применены термические методы воздействия на нефтяной пласт. Использованный термошахтный способ добычи нефти предусматривает строительство системы горных выработок, пройденных в продуктивном нефтяном пласте, и пробуренных из них подземных полого-восходящих эксплуатационных скважин. Закачка пара в пласт осуществляется через поверхностные паронагнетательные скважины, расположенные по контуру разрабатываемых участков. Дальнейшее распределение пара в толще пласта происходит через сетку подземных парораспределительных скважин.

В настоящий момент с использованием термошахтной технологии на Ярегской площади Ярегского месторождения добывается более 1 млн т нефти в год. Существующий проект развития Ярегской площади предусматривает увеличение добычи до 3,5 млн т нефти в год.

Разработка нефтяной залежи на Ярегской площади ведется с помощью трех нефтяных шахт: НШ-1, -2 и -3.

В данный момент в качестве системы разработки на Ярегской площади в основном применяется подземно-поверхностная система (см. рисунок 1). Отличием подземно-поверхностной системы от других систем термошахтной разработки является закачка пара в пласт через нагнетательные скважины, пробуренные с поверхности. Система пароснабжения выносится на поверхность, что позволяет закачивать в пласт пар предельно допустимых параметров. Параметры закачиваемого пара принимаются следующими: избыточное давление — до 1,5 МПа, температура — до 210 °С, сухость пара — не менее 0,7.

Кроме подземно-поверхностной системы, на Ярегской площади применяется и одnogоризонтная система разработки, при использовании которой закачка пара осуществляется через подземные нагнетательные скважины, пробуренные из буровых галерей. В галереи пар подается с поверхности по пароподающим скважинам, и далее по подземным паропроводам он транспортируется до нагнетательных скважин. Параметры закачки пара в пласт из горных выработок согласно требованиям системы разработки следующие: избыточное давление — до 1,5 МПа, температура — до 210 °С, сухость — не менее 0,7.

Поскольку паротепловое воздействие на нефтяной пласт приводит к значительному разогреву породного массива, он начинает отдавать тепло внутришахтной атмосфере, что приводит к значительному повышению температуры воздуха в буровых галереях и примыкающих к ним горных выработках.

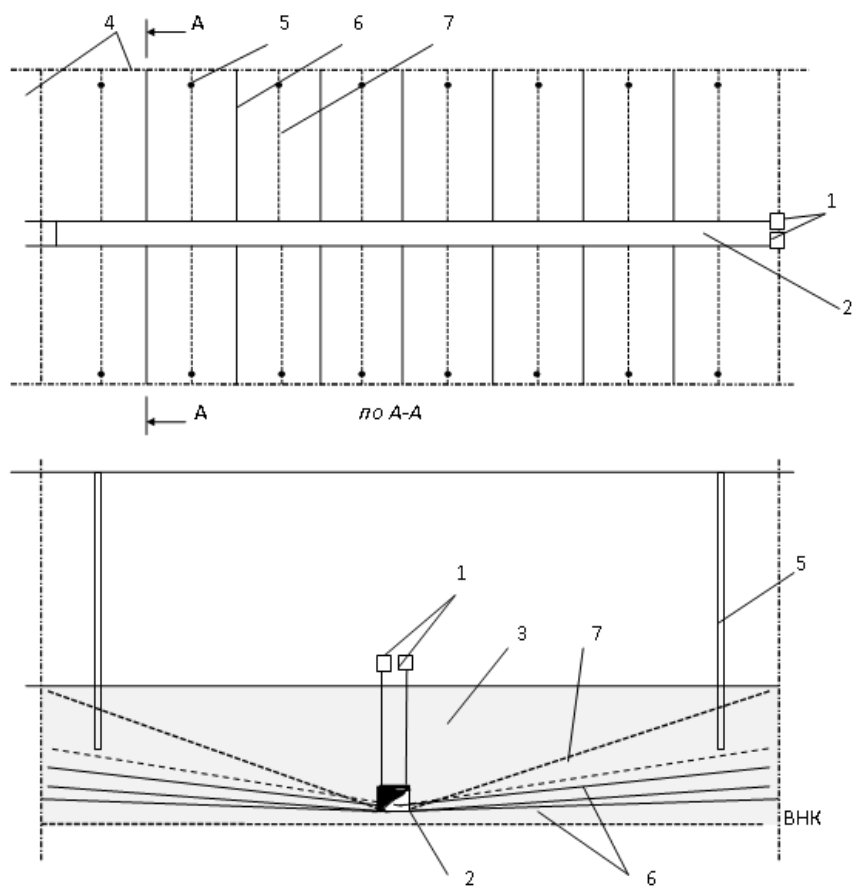


Рис. 1. Схема подземно-поверхностной системы термошахтной разработки
 1 — ходок, уклон ствола; 2 — галерея; 3 — нефтяной пласт; 4 — граница участка;
 5 — поверхностная нагнетательная скважина; 6 — подземная добывающая скважина;
 7 — подземная парораспределительная скважина

Основными источниками тепловыделений в атмосферу горных выработок являются следующие:

- от стенок, кровли и почвы подземных горных выработок, расположенных в разогретом массиве продуктивного пласта;
- от разогретой до 100°C нефтесодержащей жидкости (НСЖ), отбираемой из подземных эксплуатационных скважин и транспортируемой открытым способом по водоотливным канавкам и подошвам горных выработок буровых галерей до водо-нефтяных зумпфов;
- от нефтепроводов и насосных агрегатов, перекачивающих НСЖ;
- от оголовков и устьевого оборудования подземных скважин.

Можно рассматривать и другие источники тепловыделений (прорывы пара в горные выработки через трещины в горном массиве, через заколонное пространство подземных скважин и пр.), однако, как показали исследования, они не вносят существенного вклада в общий объем тепловыделений в силу непостоянного влияния на процесс теплообмена с шахтным воздухом.

В настоящее время допустимый диапазон температур воздуха в горных выработках нефтяных шахт определяется пп. 133 — 135 [1], в которых указано, что температура воздуха в добычных, подготовительных и других действующих выработках у мест, где работают люди, не должна превышать 26°C при относительной влажности до 90% и 25°C — при относительной влажности свыше 90 %. При кратковременном пребывании людей в буровых галереях допускается повышение температуры до 36°C включительно.

Сотрудниками ГИ УрО РАН производились воздушно-депресссионные и температурно-влажностные съемки нефтяных шахт НШ-1, -2 и -3 НШПП «Яреганефть», которые показали, что в настоящее время на ряде участков имеются превышения предельно допустимой температуры $+36^{\circ}\text{C}$, что представляет собой фактор, самым негативным образом влияющий на промышленную безопасность. Помимо того, что сами по себе такие температуры не способствуют повышению производительности труда, при таких температурах невозможно использование шахтных самоспасателей, температурный диапазон работы которых ограничен $+40^{\circ}\text{C}$, а это уже несет непосредственную опасность жизни персонала при возникновении аварийных ситуаций.

На рис. 2 приведен фрагмент схемы из отчета по температурной съемке нефтяной шахты НШ-1, на котором видно, что в части выработок наблюдается превышение температуры воздуха над нормативными показателями, равными 36°C . Аналогичная картина наблюдается и на отдельных участках вентиляционных сетей остальных шахт — НШ-3 и НШ-2.

С целью определения доли каждого типа тепловыделений в их суммарном количестве Горным институтом УрО РАН были произведены тепловизионные съемки рабочих зон нефтяных шахт (см. рис. 3), на основе которых были сделаны следующие выводы:

1. Основными источниками тепловыделений в добычных буровых галереях являются НСЖ, поверхность разогретого породного массива и устьевое оборудование скважин.
2. Вклад конкретного источника в общую сумму теплового потока, поступающего в атмосферу горных выработок, зависит от степени прогрева конкретного участка.
3. На эксплуатируемых добычных участках доля тепlopоступлений от породного массива составляет в среднем 43%, от нефтесодержащей жидкости — 43%, от скважин — 14%.
4. По мере прогрева массива доля тепlopоступлений от массива возрастает (до 65%), от НСЖ — падает (до 25%).

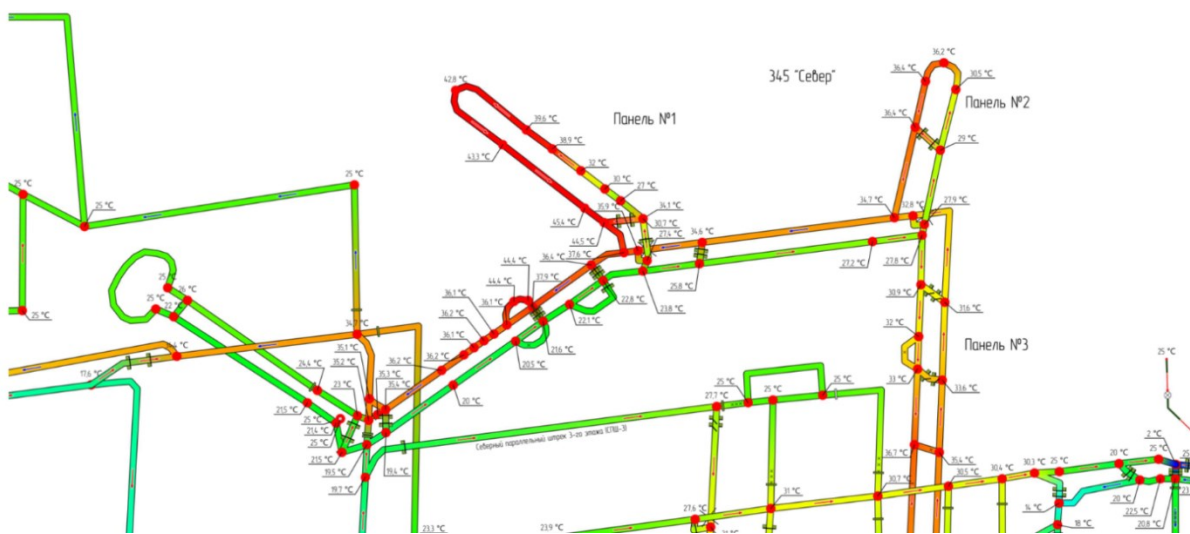


Рис. 2. Фрагмент схемы из отчета по температурной съемке вентиляционной сети нефтяной шахты НШ-1 НШПП «Яреганефть»

В настоящее время известно несколько методов борьбы с повышенными температурами воздуха в шахтах и рудниках, основными из которых являются:

1. Увеличение расхода воздуха на проблемных участках.
2. Уменьшение площади поверхности горных выработок, передающих тепло воздуху.
3. Применение теплоизоляционных крепей.
4. Применение систем охлаждения (кондиционирования) шахтного воздуха.
5. Применение закрытой системы сбора нефти для исключения воздействия флюидов на шахтную атмосферу.

Вариант № 1 для нефтяных шахт неприменим, поскольку требует реконструкции вентиляционной сети шахты, строительства новой главной вентиляторной установки (ГВУ), а кроме того, ограничен максимально допустимой скоростью движения воздушной струи, равной 6 м/с (приложение № 8 [1]). Вариант № 2 невозможен в силу наличия большого количества оборудования, в том числе технологических трубопроводов, в выработках, необходимости соблюдения минимальных размеров зазоров и проходов (приложение № 3 [1]).

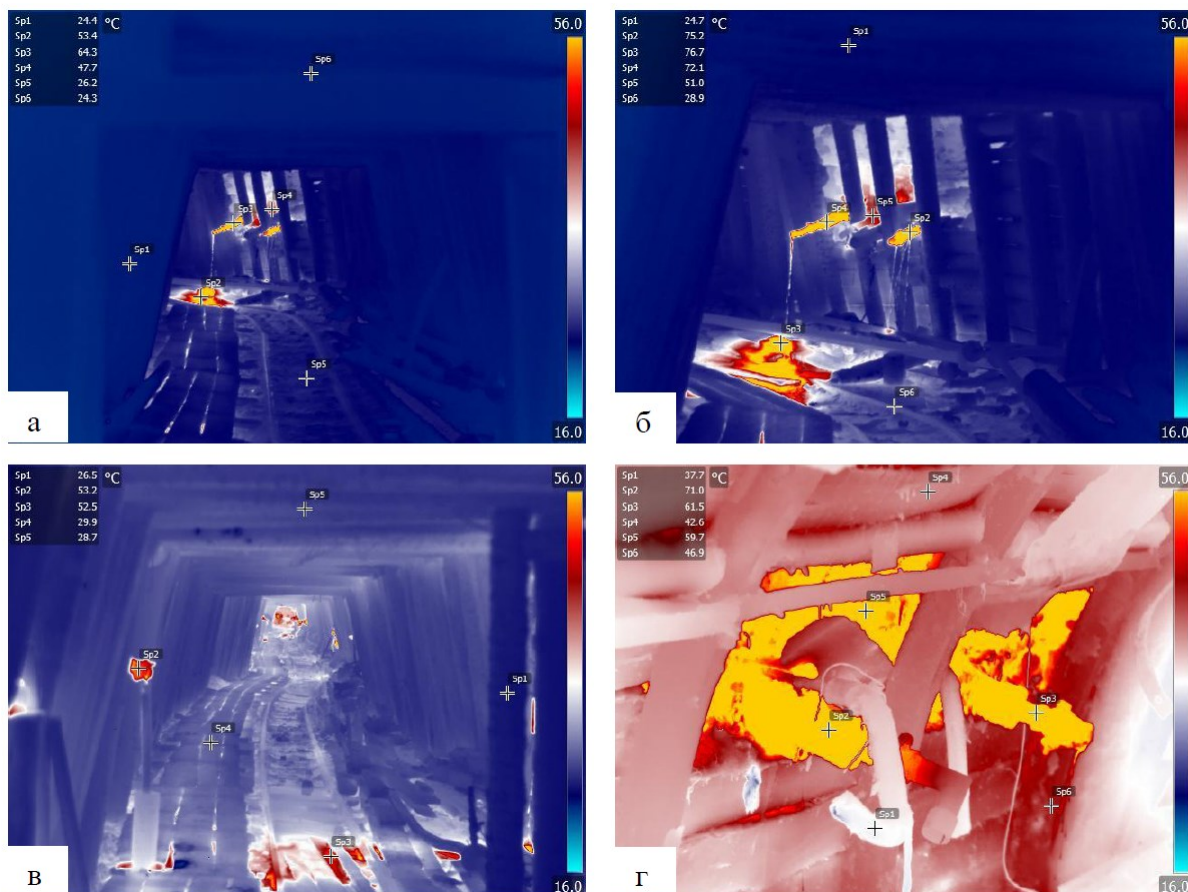


Рис. 3. Термоснимки панели № 1 уклонного блока 345 «Север» НШ-1 НШПП «Яреганефть»

Применение систем кондиционирования возможно, но их использование может быть оправдано лишь на участках с коротким вентиляционным путем, поскольку охлажденная воздушная струя, поступая в зону с разогретым породным массивом, очень быстро подогревается, и ее температура достигает предельных значений. В настоящее время проектируемые буровые галереи в нефтяных шахтах имеют значительную протяженность (более 1 и даже 2 км), поэтому применение систем кондиционирования не даст нужного эффекта.

Как указывалось в начале статьи, одной из отличительных особенностей нефтяных шахт является неглубокое залегание продуктивного нефтяного пласта, что позволяет организовывать секционные схемы проветривания, при которых вентиляция уклонных блоков осуществляется обособленно от шахты, за счет депрессии вспомогательной вентиляторной установки, установленной на поверхности.

При проектировании уклонного блока 3Т-9 нефтяной шахты НШ-1 ГИ УрО РАН применил частично-секционную схему проветривания (рис. 4), при этом на поверхностной кустовой площадке воздухоподающей и вентиляционных скважин ВПС-101 и

-102 располагается вентиляторная установка на базе агрегатов УВЦГ-15, а воздухоподготовка осуществляется с помощью блочно-модульных установок УКВ, позволяющих подогреть воздух в холодный период времени года (п. 136 [1]) и охладить в его лето. Воздух поступает в уклонный блок по воздухоподающей скважине ВПС-102, а затем распределяется по горным выработкам с помощью воздуховода распределенной раздачи, подвешенным к кровле. Теплоизолированный воздуховод распределенной раздачи позволяет доставить охлажденный воздух непосредственно в рабочую зону, избежав его прогрева при продвижении по разогретым выработкам.

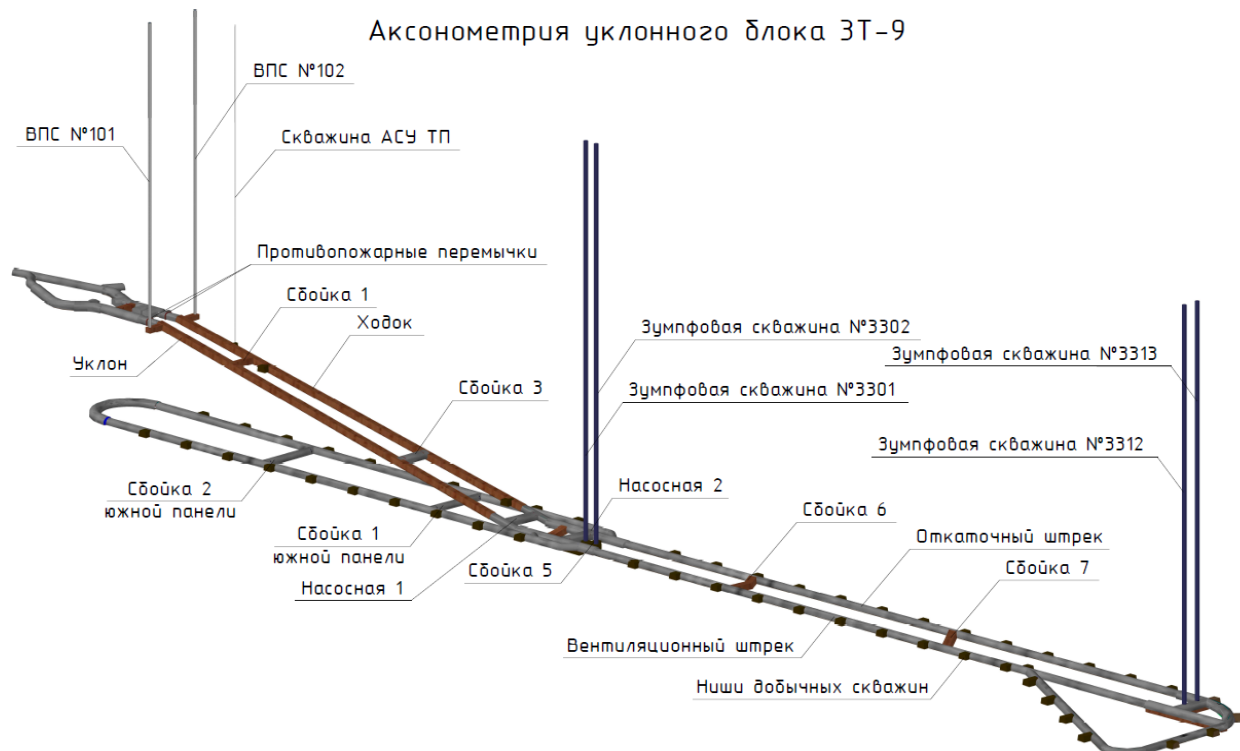


Рис. 4. Аксонометрическая схема уклонного блока ЗТ-9 нефтяной шахты НШ-1 НШПП «Яреганефть»

Тем не менее, в процессе строительно-монтажных работ, пуско-наладки и эксплуатации данной схемы были вскрыты ее недостатки, а именно:

1. Высокая стоимость оборудования для кондиционирования.
2. Сложность монтажа воздуховода распределенной раздачи в стесненных условиях подземных горных выработок.

При подготовке проектной документации для реконструкции нефтяных шахт ШШ-1, -2 и -3 перед специалистами ГИ УрО РАН была поставлена задача разработать эффективные, простые в реализации и удовлетворяющие современным требованиям промышленной безопасности методы борьбы с повышенными температурами, которые полностью соответствуют требованиям органов государственной экспертизы.

В процессе термодинамического моделирования было установлено, что наиболее эффективным подходом является комплексное решение, представляющее собой теплоизоляцию стенок, кровли и почвы горных выработок вкупе с изоляцией НСЖ от шахтной атмосферы путем устройства закрытой системы сбора нефти (теплообмен между НСЖ и шахтным воздухом минимален).

Разработанная конструкция теплоизоляционной крепи приведена на рис. 4. Стоимость 1 погонного метра теплоизоляции, согласно разработанной сметной документации, составила ок. 36 тыс. руб. в текущих ценах.

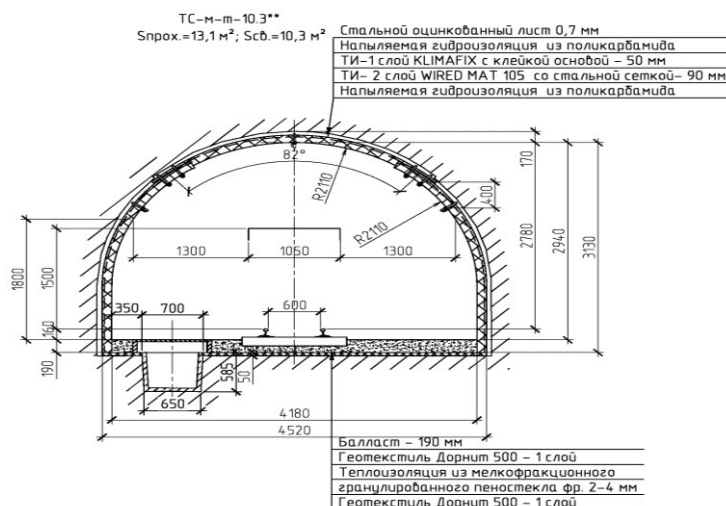


Рис. 5. Конструкция теплоизоляционной крепи, использованная в проектной документации для объекта «Реконструкция подземного комплекса нефтяных шахт НШ-1, -2 и -3 НШПП «Яреганефть»

Как видно из рис. 6, даже при наиболее жестких условиях (температура входящей струи $+23,2^{\circ}\text{C}$ — температура воздуха обеспеченностью 0,98 для условий г. Ухты [2]) разработанные комплексные технические решения по теплоизоляции горных выработок (включающие закрытую систему сбора НСЖ) позволяют строить выработки длиной до 2400 м (при скорости воздушной струи 2 м/с) без дополнительных мероприятий по кондиционированию. При этом температура воздуха не превышает допустимые $+36^{\circ}\text{C}$. Моделирование производилось при следующих граничных условиях: температура стенок и кровли $+50^{\circ}\text{C}$, подошвы $+40^{\circ}\text{C}$.

В заключение необходимо отметить:

1. Собственно кондиционирование без применения теплоизоляции горных выработок применимо лишь при длине вентиляционного пути до 300 — 400 м.
2. Повышение скорости воздушной струи даже до максимально допустимых значений, равных 6 м/с, не дает должного эффекта из-за быстрого подогрева воздуха до предельных значений даже в холодный период.
3. Наиболее эффективным методом борьбы с повышенными температурами в рабочих зонах нефтяных шахт является применение теплоизоляции подземных горных выработок и закрытой системы транспорта разогретой нефтесодержащей жидкости.
4. Стоимость теплоизоляции ориентировочно в 10 — 20 раз ниже стоимости систем кондиционирования.

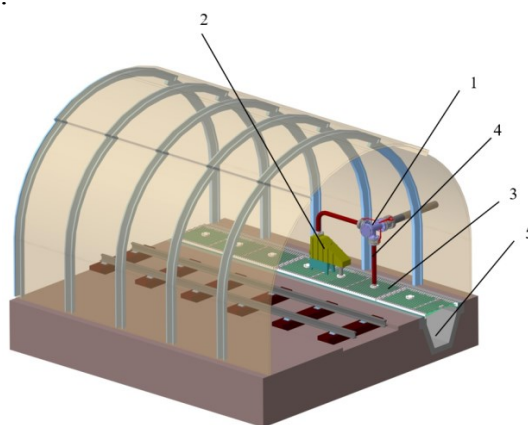


Рис. 6. Комплексные решения по нормализации микроклиматических параметров: теплоизолированная крепь + закрытая система транспорта НСЖ. 1 — устьевое оборудование, 2 — клапан-отсекатель, 3 — металлические трапы с экранами над дренажной канавкой, 4 — гибкие металлические теплоизолированные трубопроводы с комплектом запорной арматуры, 5 — дренажная канавка

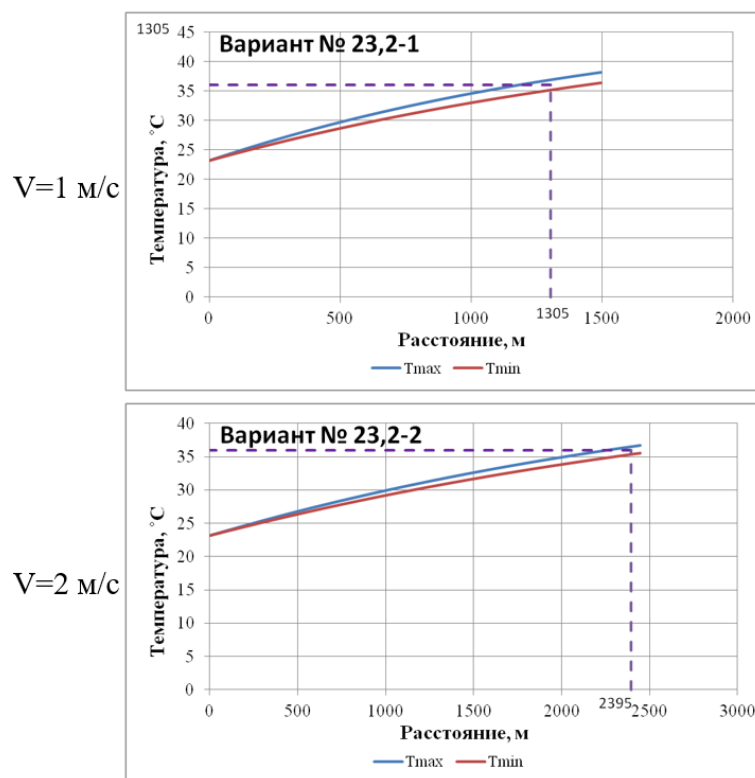


Рис. 7. График нагрева воздушной струи в теплоизолированной буровой галерее с системой закрытого транспорта НСЖ с температурой кровли и стенок +50°C, температурой почвы +40 °С при скоростях воздушной струи 1 и 2 м/с, при температуре входящей струи +23,2°C

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила промышленной безопасности при разработке нефтяных месторождений шахтным способом»: утв. 28.11.2016, № 501. – М.: ЗАО НТЦ ПБ, 2017. – 240 с. – (Документы по безопасности, надзорной и разрешительной деятельности в нефтяной и газовой промышленности: сер. 08, вып. 33).
2. СП 131.13330.2012 Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01-99*: утв. 30.06.2012. –М., 2015. – 124 с. – (Частично действует)

УДК 622.831.322

DOI:10.7242/echo.2019.4.27

ИССЛЕДОВАНИЯ ГАЗОНОСНОСТИ ВМЕЩАЮЩИХ ПОРОД В УСЛОВИЯХ РУДНИКА «ИНТЕРНАЦИОНАЛЬНЫЙ»

О.В. ИВАНОВ

Горный институт УрО РАН, г. Пермь

Аннотация. Представлены результаты количественной и качественной оценки газоносности по свободным и связанным газам вмещающих пород рудника «Интернациональный» АК «АЛРОСА». Лабораторные исследования газоносности по связанным газам проводились на специальной лабораторной установке методом сухой механической дезинтеграции, заключающемся в измельчении породы определенной массы до частиц размерами в несколько микрон с постоянным контролем температуры и давления в процессе размолла и последующим хроматографическим анализом компонентного состава выделившихся газов. Газоносность пород по свободным газам определялась путем шахтных инструментальных наблюдений за газовыделениями из шпуров, пробуренных в горных выработках рудника.

Ключевые слова: рудник, вмещающие породы, газодинамические явления, выбросы породы и газа, газоносность пород, связанные газы, свободные газы, компонентный состав, газовый хроматограф.