

УДК 622.663.3

Статья / Article

© ПНИПУ / PNRPU, 2016

СПОСОБ РАЗДЕЛЬНОГО ПРОВЕТРИВАНИЯ УКЛОННЫХ БЛОКОВ И ПОДЗЕМНЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК НЕФТЯНОЙ ШАХТЫ

А.В. Николаев

Пермский национальный исследовательский политехнический университет
(614990, Россия, г. Пермь, Комсомольский пр., 29)

METHOD OF THE SEPARATE VENTILATION OF OIL MINE'S GRADIENT EXCAVATIONS AND UNDERGROUND MINE DRIFTS

A.V. Nikolaev

Perm National Research Polytechnic University (29 Komsomolskii av., Perm, 614990, Russian Federation)

Получена / Received: 16.03.2016. Принята / Accepted: 12.09.2016. Опубликована / Published: 30.09.2016

Ключевые слова:

нефтяная шахта, проветривание, естественная тяга, тепловая депрессия, уклонный блок, главная вентиляционная установка.

На Ярегском месторождении (ООО «ЛУКОЙЛ-Ками») применяется термошахтный способ добычи нефти. При подобном способе наблюдаются значительные тепловыделения в рабочих зонах (в буровых галереях уклонных блоков) нефтяных шахт. Повышение температуры воздуха становится причиной ухудшения санитарно-гигиенических норм и снижения производительности труда горнорабочих. Предложенные и используемые в настоящее время мероприятия и способы снижения температуры воздуха в уклонных блоках требуют значительных финансовых затрат: на оснащение холодильными и калориферными установками вентиляционных скважин, проходку самих скважин, а также на процесс воздухоподготовки – затраты электрической энергии на кондиционирование (охлаждение) – и энергетических ресурсов (в основном природного газа) на нагрев воздуха, подаваемого в скважины в холодное время года.

Предложен способ проветривания уклонного блока, который позволяет использовать положительное действие естественной тяги (тепловой депрессии), возникающей между подземными горными выработками вследствие разности температур (плотностей, удельного веса) воздуха в них. Предложенный способ позволит уменьшить затраты электрической энергии на проветривание, а также снизить температуру воздуха в подземных горных выработках нефтяных шахт. Помимо этого, при его использовании не требуется оснащения вентиляционных скважин системами кондиционирования и нагрева воздуха, что также будет способствовать энерго- и ресурсосбережению.

Естественная тяга будет возникать между стволами нефтяной шахты. Как показали расчеты, она будет иметь положительное значение, т.е. будет способствовать проветриванию. Регулирование производительности и давления, развиваемого главной вентиляционной установкой (с учетом действия естественной тяги) также будет способствовать снижению электрической энергии для проветривания.

Key words:

oil mine, ventilation, natural draught, thermal depression, gradient excavation, main ventilation unit.

On the Yarega field (LUKOIL-Komi LLC) a thermal mining oil development is applied. With such method, there is a considerable heat release in oil mines' working areas (in drilling galleries of the gradient excavations). Increasing temperature causes deterioration of hygiene and reduces miners' productivity. Activities and ways proposed and currently used to reduce the air temperature in gradient excavations require significant financial expenses for implementation – for refrigeration equipment and air heater installations of ventilation boreholes, well excavation itself, as well as for the process of the air treatment – expenses of electricity for air conditioning (cooling) and energy resources (mainly natural gas) for heating the air supplied to wells during the cold season.

This paper proposes a method of gradient excavation's ventilation, which allows the use of a natural draft's positive effect (thermal depression) arising between underground mine workings due to the temperature difference (density, specific gravity) of air in them. The proposed method will reduce the cost of electricity for ventilation, as well as decrease the temperature in oil mine's underground mine drifts. Furthermore, the proposed method does not require equipping the ventilation hole with heating system and air conditioning, which would also contribute to the energy and resource savings.

In addition, natural draft will occur between the trunks of oil mines. Calculations show that it will have a positive value, that is, will facilitate ventilation. Controlling the performance and pressure developed by the main ventilation unit taking into account the action of natural draft would also reduce the electrical energy consumption for airing.

Николаев Александр Викторович – кандидат технических наук, доцент кафедры горной электромеханики (тел.: +007 342 219 87 88, e-mail: nikolaev0811@mail.ru).

Aleksandr V. Nikolaev (Author ID in Scopus: 7202396660) – PhD in Engineering, Associate Professor at the Department of Electrification and Automation of Mine Enterprises (tel.: +007 342 219 87 88, e-mail: nikolaev0811@mail.ru).

Введение

На Ярегском нефтетитановом месторождении ведется добыча нефти, главной особенностью которой, кроме высокой плотности – 952 кг/м^3 , является ее исключительная вязкость – $16\,000 \text{ МПа}\cdot\text{с}$. В связи с этим для извлечения залежи нефти применяется уникальная система разработки, при которой в продуктивный пласт закачивается перегретый пар – «термошахтный» способ добычи [1, 2]. За счет пористости пласта происходит равномерный его прогрев, вследствие чего снижается вязкость нефти и становится возможной ее добыча.

Термошахтная технология, применяемая на Ярегском месторождении, реализована в основном благодаря следующим системам разработки [3, 4].

1. Двухгоризонтная система разработки (рис. 1), при которой закачку пара ведут с надпластового горизонта, расположенного выше кровли на 10–30 м, через вертикальные и крутонаклонные нагнетательные скважины, а отбор нефти осуществляется из пологовосходящих добывающих скважин длиной до 300 м, пробуренных из расположенной в продуктивном пласте галереи.

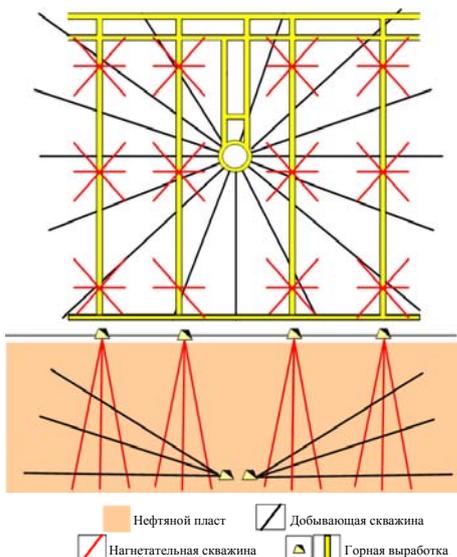


Рис. 1. Двухгоризонтная система разработки

2. Подземно-поверхностная система разработки [5], при которой горная выработка проходит в продуктивном пласте или ниже него, а добывающие скважины бурятся пологонаклонными и располагаются рядами (рис. 2). Между добывающими бурятся парораспределительные скважины, в которые поступает перегретый пар с поверхности.

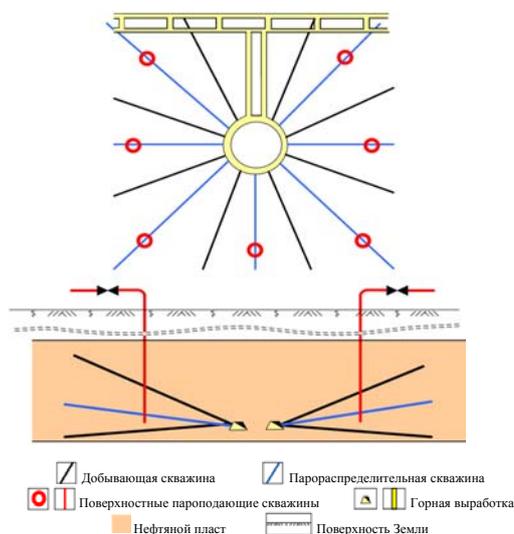


Рис. 2. Подземно-поверхностная система разработки

Существующие методы разработки месторождений высоковязкой нефти и природного битума позволяют извлечь из пластов не более 20–30 % от балансовых запасов. Опыт разработки Ярегского месторождения показал, что термошахтным способом из недр можно извлечь от 50 до 70 % углеводородного сырья [1]. Однако подземный способ добычи нефти, помимо высоких затрат пара на разогрев пласта (в среднем 2,7 т пара на 1 т нефти), имеет еще один существенный недостаток – значительные тепловыделения в горные выработки, в результате чего возникают две существенные проблемы:

1. Нарушаются санитарно-гигиенические условия труда горнорабочих.

2. Снижается эффективность прогрева пласта в результате утечек тепла от горного массива, что приводит к необходимости использования дополнительного объема перегретого пара и, как следствие, дополнительным финансовым затратам на его (пара) подготовку.

Существует несколько традиционных способов решения первой проблемы (нарушение санитарно-гигиенических условий труда в нефтешахте):

– увеличение общего количества воздуха, подаваемого в шахту;

– создание центральной холодильной станции на поверхности для охлаждения всего поступающего в шахту воздуха (станции кондиционирования);

– использование холодильных машин в шахте на входе в уклонные блоки или в буровую галерею.

Вышеприведенные мероприятия в условиях нефтешахты не способны обеспечить требуемого результата, и для их реализации необходимы значительные затраты электроэнергии – на работу главной вентиляторной установки (ГВУ), на работу системы кондиционирования воздуха и т.д. [6]. Кроме того, охлаждение воздуха, подаваемого в уклонные блоки нефтешахты, приведет к охлаждению горного массива, что, в свою очередь, снизит эффективность нефтедобычи.

Ввиду того что устранить обе проблемы традиционными способами не представляется возможным, в настоящее время разрабатываются альтернативные способы решения.

Например, в работе [7] предложено струю воздуха в буровой галерее охлаждать в теплообменном устройстве, конструкция которого специально разработана для этой цели [8]. В этом случае проблема, связанная с дополнительными финансовыми затратами на нагрев пласта, не решается. Кроме того, не доказана эффективность работы теплообменного устройства.

В работе [9] предлагается выполнить частичную теплоизоляцию разогретой поверхности уклонного блока. Следует отметить, что теплоизоляция не сможет полностью обеспечить защиту от теплопотерь вследствие собственного прогрева, тем более что со временем она будет терять свои теплоизоляционные свойства [6]. К недостатку предложенного решения можно также отнести тот факт, что тепловое поле будет распространяться по горным выработкам за теплоизоляцией, т.е. воздух будет нагреваться за границами теплоизоляционного слоя. Кроме того, из-за стоимости материалов, обладающих требуемыми теплоизоляционными свойствами, а также необходимого их количества предложенный вариант будет нерационален с экономической точки зрения. Тепловыделения от горного массива не являются единственными. Также в уклонных блоках присутствуют тепловыделения от разогретых флюидов, пара и конденсата, поступающих через добывающие скважины, т.е. через нетеплоизолированные участки, составляющие 60–70 % от всего тепла, выделяемого в буровой галерее [10]. В приведенной работе не предусмотрены мероприятия для борьбы с данным тепловым излучением.

В [11] предложено использовать радиационный кондиционер для ускоренного

формирования теплоуравнивающих рубашек вокруг горных выработок. Однако подобный способ потребует значительных финансовых затрат на кондиционирование воздуха, в результате чего снизится температура пласта, что повлечет за собой снижение нефтедобычи.

В связи с вышеизложенным требуется разработка способа, при котором в горных выработках нефтешахты будут созданы необходимые для нормальной работы санитарно-гигиенические условия труда, а также, ввиду нецелесообразности использования предложенных в настоящее время способов теплоизоляции и ее высокой стоимости, максимально использовано выработанное от горного массива тепло.

Одним из способов решения изложенной проблемы является модернизация существующей и/или разработка новой схемы проветривания уклонного блока и нефтешахты в целом.

Способ проветривания уклонного блока нефтешахты

При разработке схемы проветривания уклонного блока нефтешахты можно максимально извлечь выгоду от негативного явления – тепловыделений в горные выработки. Ввиду того что по закону конвективного теплообмена теплый воздух (более легкий) стремится подняться вверх, а более холодный (более тяжелый) – опуститься вниз, между выработками нефтешахты будет возникать перепад гидростатических давлений, который носит название «тепловая депрессия» («естественная тяга») [12–15].

Учет действия тепловых депрессий при разработке схемы проветривания выемочного участка калийного рудника, аэродинамические параметры выработок которого близки к параметрам выработок нефтешахты, позволил в значительной степени улучшить вентиляционную обстановку и повысить энергоэффективность проветривания [16, 17].

На основе опыта разработки схем проветривания выемочного участка калийного рудника в работе [18] была предложена схема проветривания уклонного блока нефтешахты, представленная на рис. 3.

Основная идея способа заключается в использовании тепла, исходящего от разогретого пласта, для проветривания уклонного блока, в который свежий воздух подается по ходку 1, а удаляется по вентиляционной скважине 3. Возникающая в процессе добычи, за счет разности температур на поверхности и в буровой

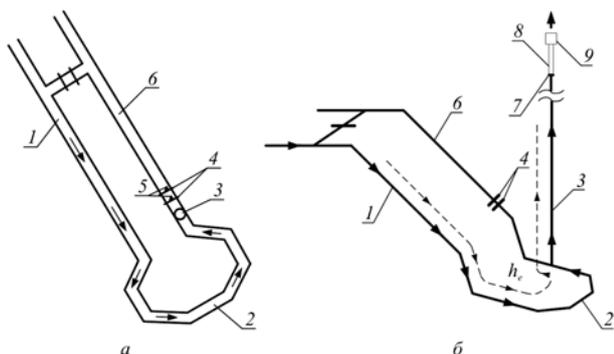


Рис. 3. Упрощенная схема рассматриваемого способа проветривания уклонного блока нефтешахты: *a* – вид сверху; *b* – вид сбоку. 1 – ходок; 2 – буровая галерея; 3 – вентиляционная скважина; 4 – воздушный тамбур из перемычек; 5 – двери для прохода рабочих; 6 – уклон; 7 – устье скважины; 8 – труба; 9 – источник тяги (дефлектор или вентилятор); h_e – естественная тяга

галерее 2, естественная тяга h_e будет направлять нагретый отработанный воздух на поверхность. Для улучшения условий проветривания на поверхности в устье вентиляционной скважины (на трубе 8) устанавливается источник тяги (вентилятор или дефлектор) 9. От поступления нагретого воздуха в горные выработки предохраняет воздушный тамбур из перемычек 4, расположенный в уклоне 6.

С точки зрения энергоэффективности и максимального использования тепловыделений от горного массива представленный способ, по сравнению с существующими в настоящее время вариантами, является наиболее эффективным. Однако настоящая схема проветривания обладает следующим существенным недостатком. Горнорабочим необходимо передвигаться по всем подземным выработкам, т.е. свежий воздух необходимо подавать во все участки нефтешахты. Тем более в случае возникновения нештатной ситуации покинуть нефтешахту необходимо по вентиляционным выработкам (выработки, куда поступает исходящий из уклонных блоков воздух), в которые в приведенном способе подача воздуха не предусмотрена.

В связи с этим с целью усовершенствования предложенного способа проветривания и обеспечения всех рабочих зон требуемым количеством воздуха разработан новый способ проветривания уклонного блока и нефтешахты в целом [19], который представлен на рис. 4.

Часть свежего потока воздуха 1, имеющего температуру пород, проходит по подземным горным выработкам и подается в ходок 4 уклонного блока нефтешахты, затем поступает

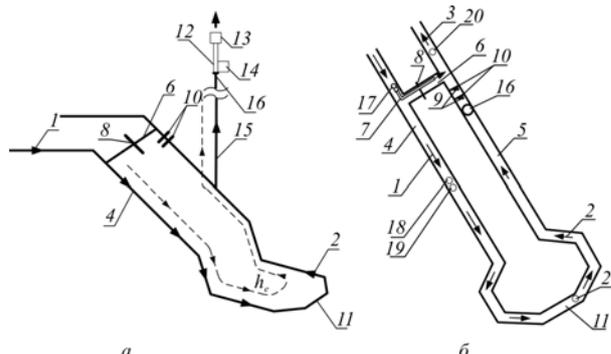


Рис. 4. Предлагаемая схема раздельного способа проветривания уклонного блока нефтешахты: *a* – вид сверху; *b* – вид сбоку. 1 – свежий воздух; 2 – нагретый воздух; 3 – исходящий поток воздуха; 4 – ходок; 5 – уклон; 6 – соединительная выработка; 7 – воздуховод в соединительной выработке; 8 – глухая перемычка; 9 – двери; 10 – перемычка воздушного тамбура; 11 – буровая галерея; 12 – вентиляционная труба; 13 – дефлектор; 14 – поверхностный вентилятор; 15 – вентиляционная скважина; 16 – устье вентиляционной скважины; 17 – вентилятор местного проветривания; 18 – датчик расхода воздуха; 19 – датчик температуры и давления или плотномер; 20 – дополнительный датчик расхода воздуха; 21 – дополнительный датчик температуры и давления или плотномер

в буровую галерею 11, где он нагревается и становится более легким. Из-за разности температур свежего воздуха 1, нагретого воздуха 2, выходящего из буровой галереи 11, и наружного воздуха в результате действия естественной тяги h_e поток воздуха направляется на поверхность нефтешахты через вентиляционную скважину 15. Для поддержания устойчивой направленности потока воздуха по вентиляционной скважине она оборудуется на поверхности источниками тяги в виде дефлектора 13 и поверхностного вентилятора 14. Для предотвращения попадания нагретого воздуха 2 в уклонный блок в нем установлен воздушный тамбур из двух перемычек 10. Для прохода горнорабочих из буровой галереи в уклонный блок и обратно в перемычках установлены двери 9.

Преимущество предложенного способа заключается в том, что в расположенную за воздушным тамбуром зону, а следовательно, и исходящие вентиляционные выработки будет поступать свежий воздух за счет работы вентилятора местного проветривания (ВМП) 17.

С целью обеспечения энерго- и ресурсосберегающего режима проветривания уклонного блока процесс распределения воздушных потоков необходимо автоматизировать.

Информация с датчиков расхода воздуха (18, 20), датчиков давления и температуры либо с плотномеров (19, 21) поступает на средний уровень автоматизации – программируемый микроконтроллер (PLC). В зависимости от объемного расхода свежего воздуха, требуемого для проветривания буровой галереи, и необходимых санитарно-гигиенических условий труда в ней (определяется датчиками 19, 21) в PLC выбирается режим работы ВМП и поверхностного вентилятора 14 (см. рис. 4). Когда для проветривания уклонного блока окажется достаточно депрессии, развиваемой естественной тягой h_e , поверхностный вентилятор отключается. Объемный расход воздуха (производительность ВМП) определяется датчиком расхода воздуха 20, и требуемый режим поддерживается за счет управляемого электропривода.

Таким образом, с увеличением температуры в буровой галерее будет расти значение естественной тяги h_e , т.е. без дополнительных затрат электроэнергии в предлагаемой схеме будут улучшаться условия проветривания, в результате чего температура в буровой галерее будет снижаться. В связи с этим система является саморегулирующей по параметру температуры в рабочей зоне.

Управление проветриванием нефтешахты в целом

В связи с тем что согласно [20] ГВУ является одним из основных потребителей электроэнергии (порядка 30 % от всего энергопотребления горного предприятия), для повышения энергоэффективности проветривания, но с учетом обеспечения требуемых условий безопасности в работе [21] предложено автоматизировать процесс проветривания подземного горно-добывающего предприятия.

Для предложенного способа раздельного проветривания уклонного блока и нефтешахты в целом принцип работы системы автоматизации проветривания будет аналогичен принципу работы, описанному в [21].

Информация с датчиков температуры, давления (или плотномеров) и расхода воздуха 14, 15, расположенных в устье 12, околоствольных дворах 13, на главных исходящих вентиляционных выработках 14 и в канале ГВУ 6 (рис. 5), будет поступать на PLC, в котором будет производиться расчет общешахтной естественной тяги, действующей между шахтными стволами.

Отличительная особенность способа заключается в том, что, помимо информации с вышеупомянутых датчиков, в микроконтроллер будет поступать информация с датчиков из всех уклонных блоков, а исполнительными устройствами (помимо электропривода ГВУ) будут электроприводы ВМП и поверхностных вентиляторов.

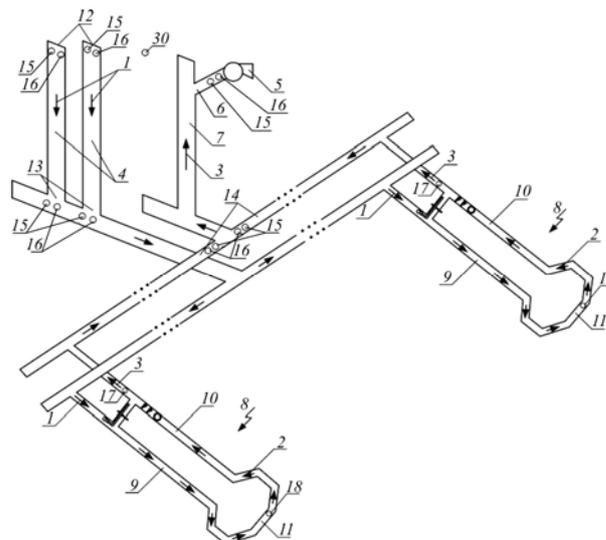


Рис. 5. Способ раздельного проветривания уклонных блоков и нефтешахты в целом: 1 – свежий воздух; 2 – нагретый воздух; 3 – исходящий поток воздуха; 4 – воздухоподающий ствол; 5 – ГВУ; 6 – канал ГВУ; 7 – вентиляционный ствол нефтешахты; 8 – уклонный блок; 9 – ходок; 10 – уклон; 11 – буровая галерея; 12 – устье воздухоподающего ствола; 13 – околоствольный двор воздухоподающего ствола; 14 – главная исходящая вентиляционная выработка; 15 – датчик расхода воздуха; 16 – датчик температуры и давления или плотномер; 17 – дополнительный датчик расхода воздуха; 18 – дополнительный датчик температуры и давления или плотномер

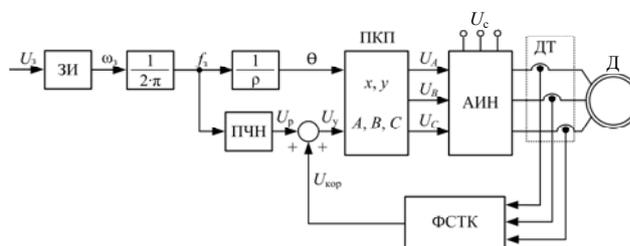


Рис. 6. Реализация управления электроприводом нагнетательных вентиляторов на базе схемы скалярного управления с IR -компенсацией: U_3 – напряжение задания; ЗИ – датчик интенсивности изменения заданной скорости (ω_3) и частоты (f_3); ПЧН – преобразователь частота-напряжение; ПКП – преобразователь координат для прямого преобразования двухкоординатной системы напряжений (x, y) в трехфазную (U_A, U_B, U_C) систему управляемых напряжений автономного инвертора напряжения (АИН); ДТ – датчик 3-фазной системы тока; ФСТК – формирователь системы токовой компенсации; U_y – напряжение управления ПКП; $U_{кор}$ – напряжение IR -компенсации; θ – угол пространственного положения двухкоординатной системы x, y обобщенной электромеханической системы электродвигателя; ρ – символ дифференцирования; U_p – напряжение ПЧН; U_c – напряжение сети; Д – двигатель нагнетательного вентилятора

Управление работой ВМП и поверхностных вентиляторов может быть реализовано посред-

ством компенсирующего падения напряжения на активном сопротивлении статора асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором как по отклонению, так и по возмущению, со скалярной IR -компенсацией (рис. 6) [22, 23].

В зависимости от значения естественной тяги, возникающей между стволами, величину которой с требуемой степенью вероятности можно определить по расчетным зависимостям [14, 24], необходимо регулировать режим работы ГВУ. При действии положительной общешахтной естественной тяги можно добиться существенной экономии электроэнергии, потребляемой ГВУ [25].

Выводы

Таким образом, представленный в настоящей статье способ раздельного проветривания уклонного блока и нефтешахты в целом по сравнению с существующими имеет следующие преимущества:

1. Предлагается использовать тепловое излучение от разогретого пласта в виде основного источника возникновения тепловой депрессии (естественной тяги) между горными выработками, в то время как в существующих способах предпринимаются меры по снижению температуры в рабочей зоне.

2. Автоматизация процесса совместной работы ВМП, поверхностных вентиляторов всех уклонных блоков и ГВУ позволит повысить энергоэффективность проветривания, т.е. обеспечить все зоны нефтешахты свежим

воздухом только в необходимом объеме. Кроме того, в случае, когда действия естественной тяги будет достаточно для проветривания отдельного уклонного блока, поверхностный вентилятор в нем отключается и проветривание осуществляется только за счет конвективного теплообмена (усиливается дефлектором).

3. Использование при проветривании уклонного блока ВМП позволяет обеспечить свежим ненагретым воздухом исходящие вентиляционные выработки, что позволит находиться в них горнорабочим и, в случае возникновения нештатной ситуации (например пожара), покинуть по ним нефтешахту.

4. Улучшение санитарно-гигиенических условий труда в буровой галерее происходит естественным путем без дополнительных затрат электроэнергии. При повышении температуры в рабочей зоне увеличивается естественная тяга h_e , в результате чего в уклонный блок начинает поступать большее количество свежего воздуха невысокой (порядка 9–10 °С) температуры. В итоге температура воздуха в буровой галерее начнет снижаться, что приведет к снижению естественной тяги и, как следствие, снижению объема поступающего свежего охлаждающего воздуха. Таким образом, система проветривания будет саморегулирующей по температуре в ней в зависимости от санитарно-гигиенических условий труда в рабочей зоне без дополнительных затрат электроэнергии.

Список литературы

1. Термошахтная разработка нефтяных месторождений / Ю.П. Коноплев, В.Ф. Буслав, З.Х. Ягубов, Н.Д. Цхадая; под ред. Н.Д. Цхадая. – М.: Недр-Бизнесцентр, 2006. – 288 с.
2. Chertentkov M.V., Mulyak V.V., Konoplev Y.P. The Yarega heavy oil field – history, experience, and future // *Journal of Petroleum technology*. – 2012. – P. 158–160. DOI: 10.2118/0412-0153-JPT.
3. Тюнькин Б.А., Коноплев Ю.П. Опыт подземной разработки нефтяных месторождений и основные направления развития термошахтного способа добычи нефти. – Ухта: ПечорНИПИнефть, 1996. – 160 с.
4. Коноплев Ю.П., Гуляев В.Э. Внедрение новых методов термошахтной разработки на Ярегском месторождении высоковязкой нефти // *Нефтяное хозяйство*. – 2011. – № 2. – С. 89–91.
5. Способ разработки месторождения высоковязкой нефти: пат. 2114289 Рос. Федерация: МПК E21B43/24 / Б.А. Тюнькин, В.М. Букреев, Л.Г. Грузцкий, Ю.П. Коноплев, А.А. Пранович, В.В. Питиримов, В.Е. Шешуков; заявл. 12.03.1997; опубл. 27.06.1998. – Бюл. № 8.
6. Мартынов А.А., Яковенко А.К., Король В.И. К вопросу уменьшения риска тепловых поражений горнорабочих в выработках глубоких шахт // *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. – 2004. – № 5. – С. 268–271.
7. Повышение эффективности подземной добычи нефти термошахтным способом / Д.Г. Закиров, Р.А. Файзрахманов, А.В. Николаев, Н.Ф. Шаякбаров // *Нефтяное хозяйство*. – 2014. – № 6. – С. 58–60.
8. Теплообменное устройство для охлаждения шахтной вентиляционной струи: пат. 2476798 Рос. Федерация: МПК F28C 1/00, F24F 9/00 / Д.Г. Закиров, И.И. Боринских, Г.Д. Закиров, М.А. Мухамедшин, В.Э. Гуляев, С.А. Кузнецов; № 2011119716/06; заявл. 16.05.2011; опубл. 27.02.2013. – Бюл. № 6.
9. Седнев Д.Ю., Кривошеков С.Н. О возможности применения частичной теплоизоляции горных выработок уклонных блоков нефтешахт Ярегского месторождения для повышения энергоэффективности процесса добычи // *Проблемы геологии и освоения недр: тр. XVIII Междунар. симп. им. акад. М.А. Усова студентов и молодых ученых, г. Томск, 7–11 апреля 2014 / Нац.*

исслед. Томск. политехн. ун-т. – Томск: Изд-во ТПУ, 2014. – Т. 2. – С. 472–474.

10. Цхадая Н.Д., Жуйков А.Е., Ягубов З.Х. Критерий оценки оптимальных условий труда в горных выработках нефтяных шахт // Нефтегазовое дело. – 2012. – № 5. – С. 318–326.

11. Бойко В.А., Бойко А.В. Способ ускоренного формирования теплоуравнивающей рубашки горной выработки глубокой шахты // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2004. – № 10. – С. 86–90.

12. Bruce W.E. Natural draft: its measurement and modeling in underground mine ventilation systems. – US: Dept. of Labor, Mine Safety and Health Administration, 1986. – 34 p.

13. Comprehensive and integrated mine ventilation consultation model / Jianwei Cheng, Yan Wu, Haiming Xu, Jin Liu, Yekang Yang, Huangjun Deng, Yi Wang // Tunneling and Underground Space Technology. – 2015. – Vol. 45. – P. 166–180. DOI: 10.1016/j.tust.2014.09.004.

14. Alymenko N.I., Nikolaev A.V. Influence of mutual alignment of mine shafts on thermal drop of ventilation pressure between the shafts // Journal of Mining Science. – 2011. – Vol. 47, № 5. – P. 636–642. DOI: 10.1134/S1062739147050121.

15. Николаев А.В. Управление тепловыми депрессиями в системах вентиляции калийных рудников: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Пермь, 2012. – 20 с.

16. Николаев А.В. Зависимость потребления электроэнергии главной вентиляционной установки от способа проветривания добычных участков калийных рудников // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2011. – № 1. – С. 143–151.

17. Алыменко Н.И., Николаев А.В. Способ проветривания выемочного участка калийного рудника при обратном порядке отработки // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2015. – № 2. – С. 228–234.

18. Николаев А.В., Файнбург Г.З. Об энерго- и ресурсосберегающем проветривании подземных горных выработок // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2015. – № 14. – С. 92–98. DOI: 10.15593/2224-9923/2015.14.10.

19. Система проветривания нефтешахты: пат. 2582145 Рос. Федерация: E21F1/00 / заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет». – № 2015115232/03; заявл. 22.04.2015; опубл. 10.07.2016. – Бюл. № 19.

20. Старков Л.И., Земсков А.Н., Кондрашев П.И. Развитие механизированной разработки калийных руд. – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2007. – 522 с.

21. Николаев А.В., Алыменко Н.И., Седунин А.М. Автоматизированная ресурсо- и энергосберегающая система воздухоподготовки шахтного воздуха // Горное оборудование и электромеханика. – 2013. – № 11. – С. 14–18.

22. Васильев Е.М., Николаев А.В., Королев Н.А. Система управления электроприводом нагнетательных вентиляторов и сетевого насоса для поддержания теплового режима в шахтных стволах // Горное оборудование и электромеханика. – 2015. – № 1 (110). – С. 20–24.

23. Николаев А.В. Автоматизация процесса воздухоподготовки на подземных горно-добывающих предприятиях // Автоматизация. Современные технологии. – 2016. – № 1. – С. 19–24.

24. Lyal'kina G.B., Nikolaev A.V. Natural draught and its direction in a mine at the preset confidence coefficient // Journal of Mining Science. – 2015. – Vol. 51, № 2. – P. 342–346. DOI: 10.1134/S1062739115020180

25. Седунин А.М., Николаев А.В., Седнев Д.Ю. Электропривод главной вентиляционной установки нефтешахты, регулируемый с учетом действия общешахтной естественной тяги // Горное оборудование и электромеханика. – 2012. – № 11. – С. 2–7.

References

1. Konoplev Iu.P., Buslaev V.F., Iagubov Z.Kh., Tskhadaia N.D. Ed. N.D. Tskhadaia. Termoshakhtnaia razrabotka neflianykh mestorozhdenii [Thermal mining development of oil fields]. Moscow: Nedra-Biznestsentr, 2006, 288 p.

2. Chertenkov M.V., Mulyak V.V., Konoplev Y.P. The Yarega heavy oil field – history, experience, and future. *Journal of Petroleum technology*, 2012, pp.158-160. DOI: 10.2118/0412-0153-JPT.

3. Tiun'kin B.A., Konoplev Iu.P. Opyt podzemnoi razrabotki neflianykh mestorozhdenii i osnovnye napravleniia razvitiia termoshakhtnogo sposoba dobychi nefli [Oil field's underground mining experience and main directions of development of thermal mining method of oil production]. Ukhhta: PechorNIPIneft', 1996, 160 p.

4. Konoplev Iu.P., Guliaev V.E. Vnedrenie novykh metodov termoshakhtnoi razrabotki na Iaregskom mestorozhdenii vysokoviazkoi nefli [Introduction of new methods of thermal mining development at Yaregskoye heavy oil field]. *Neftianoe khoziaistvo*, 2011, no.2, pp.89-91.

5. Tiun'kin B.A., Bukreev V.M., Grutskii L.G., Konoplev Iu.P., Pranovich A.A., Pitirimov V.V., Sheshukov V.E. Sposob razrabotki mestorozhdeniia vysokoviazkoi nefli [Method of development of heavy oil field]: patent 2114289 Ros. Federatsiia: MPK E21B43/24. No. 97103294/03; zaivlen 12.03.1997; opublikovan 27.06.1998, Biulleten' no. 8.

6. Martynov A.A., Iakovenko A.K., Korol' V.I. K voprosu umen'sheniia riska teplovykh porazhenii gornorabochikh v vyrabotkakh glubokikh shakht [On the question of reducing the risk of thermal injuries miners in the workings of deep mines]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten' (nauchno-tekhnicheskii zhurnal)*, 2004, no.5, pp.268-271.

7. Zakirov D.G., Faizrahmanov R.A., Nikolaev A.V., Shaiakbarov N.F. Povyshenie effektivnosti podzemnoi dobychi nefli termoshakhtnym sposobom [The options to improve the underground oil extraction using the method of thermal mining development]. *Neftianoe khoziaistvo*, 2014, no.6, pp.58-60.

8. Zakirov D.G., Borinskikh I.I., Zakirov G.D., Mukhamedshin M.A., Guliaev V.E., Kuznetsov S.A. Teploobmennoe ustroystvo dlia okhlazhdeniia shakhtnoi ventilatsionnoi strui [Heat-exchange device for cooling air flow in shaft]: patent 2476798 Ros Federatsiia: MPK F28S 1/00, F24F 9/00. No. 2011119716/06; zaiavlenn 16.05.2011; opublikovan 27.02.2013, Biulleten' no. 6.

9. Sednev D.Iu., Krivoshechekov S.N. O vozmozhnosti primeneniia chastichnoi teploizolatsii gornyykh vyrabotok uklonnykh blokov nefteshakht Iaregskogo mestorozhdeniia dlia povysheniia energoeffektivnosti protsessa dobychi [On the possibility of the application of the partial insulation in gradient excavation of Yaregskoye oil field's mining shafts to improve the energy efficiency of production processes]. *Problemy geologii i osvoeniia nedr: tr. XVIII Mezhdunar. simp. im. akad. M.A. Usova studentov i molodykh uchennykh*, 7-11 aprelia 2014. Tomsk: Izd-vo TPU, 2014, vol.2, pp.472-474.

10. Tskhadaia N.D., Zhuikov A.E., Iagubov Z.Kh. Kriterii otsenki optimal'nykh uslovii truda v gornyykh vyrabotkakh neftiannykh shakht [Criterion of evaluation of optimum work conditions in mining workings of oil mines]. *Neftegazovoe delo*, 2012, no.5, pp.318-326.

11. Boiko V.A., Boiko A.B. Sposob uskorenno go formirovaniia teplouravnivaiushchei rubashki gornoj vyrabotki glubokoi shakhty [Criterion of evaluation of optimum work conditions in mining workings of oil mines]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten' (nauchno-tekhnicheskii zhurnal)*, 2004, no.10, pp.86-90.

12. Bruce W.E. Natural draft: its measurement and modeling in underground mine ventilation systems. US: Dept. of Labor, Mine Safety and Health Administration, 1986, 34 p.

13. Jianwei Cheng, Yan Wu, Haiming Xu, Jin Liu, Yekang Yang, Huangjun Deng, Yi Wang. Comprehensive and integrated mine ventilation consultation model. *Tunneling and Underground Space Technology*, 2015, vol.45, pp.166-180. DOI:10.1016/j.tust.2014.09.004.

14. Alymenko N.I., Nikolaev A.V. Influence of mutual alignment of mine shafts on thermal drop of ventilation pressure between the shafts. *Journal of Mining Science*, 2011, vol.47, no.5, pp. 636-642. DOI: 10.1134/S1062739147050121.

15. Nikolaev A.V. Upravlenie teplovymi depressiyami v sistemakh ventilatsii kaliinykh rudnikov [Thermal depression management of ventilation systems in potash mines]: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk. Perm', 2012, 20 p.

16. Nikolaev A.V. Zavisimost' potrebleniia elektroenergii glavnoi ventilatornoi ustanovki ot sposoba provetrivaniia dobychnyykh uchastkov kaliinykh rudnikov [The influence of consumption electric power is spent for work main ventilation installation from the way ventilation underground mountain developments the potash mines]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo*

politekhneskogo universiteta. Geologiya. Neftegazovoe i gornoe delo, 2011, no.1, pp.143-151.

17. Alymenko N.I., Nikolaev A.V. Sposob provetrivaniia vyemochno go uchastka kaliinogo rudnika pri obratnom poriadke otrabotki [Method of ventilation mining area potash mines in reverse order mining and quarrying]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten' (nauchno-tekhnicheskii zhurnal)*, 2015, no.2, pp.228-234.

18. Nikolaev A.V., Fainburg G.Z. Ob energo- i resursoberegaiushchem provetrivani i podzemnykh gornyykh vyrabotok [On energy and resource-saving of underground oil mine workings]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhneskogo universiteta. Geologiya. Neftegazovoe i gornoe delo*, 2015, no.14, pp.92-98. DOI: 10.15593/2224-9923/2015.14.10.

19. Sistema provetrivaniia nefteshakhty [The system of oil shafts ventilation]: pat. 2582145 Ros. Federatsiia: E21F1/00. Zaiavitel' i patentoobladatel' FGBOU VPO «Permskii natsional'nyi issledovatel'skii politekhneskii universitet». No. 2015115232/03; zaiavl. 22.04.2015; opubl. 10.07.2016. Biulleten' no. 19.

20. Starkov L.I., Zemskov A.N., Kondrashev P.I. Razvitiie mekhanizirovannoi razrabotki kaliinykh rud [Progress of mechanized development of potash ore]. Perm': Izd-vo Perm. gos. tekhn. un-ta, 2007, 522 p.

21. Nikolaev A.V., Alymenko N.I., Sedunin A.M. Avtomatizirovannaia resurso- i energosoberegaiushchaia sistema vozdukhopodgotovki shakhtnogo vozdukh a [Automated resource-saving and energy efficient air preparation the main air]. *Gornoe oborudovanie i elektromekhanika*, 2013, no.11, pp.14-18.

22. Vasil'ev E.M., Nikolaev A.V., Korolev N.A. Sistema upravleniia elektroprivodom nagnetatel'nykh ventilatorov i setevogo nasosa dlia podderzhaniiia teplovogo rezhima v shakhtnykh stvolakh [Control systems of electric drive air blower and power pump for maintaining the thermal regime in shafts]. *Gornoe oborudovanie i elektromekhanika*, 2015, no.1 (110), pp.20-24.

23. Nikolaev A.V. Avtomatizatsiia protsessa vozdukhopodgotovki na podzemnykh gorno-dobyvaiushchikh predpriiatiakh [Automation of the air preparation process in underground mining enterprises]. *Avtomatizatsiia. Sovremennye tekhnologii*, 2016, no.1, pp.19-24.

24. Lyal'kina G. B., Nikolaev A.V. Natural draught and its direction in a mine at the preset confidence coefficient. *Journal of Mining Science*, 2015, vol.51, no.2, pp.342-346. DOI: 10.1134/S1062739115020180.

25. Sedunin A.M., Nikolaev A.V., Sednev D.Iu. Elektroprivod glavnoi ventilatornoi ustanovki nefteshakhty, reguliruemyi s ucheto m deistviia obshcheshakhtnoi estestvennoi tiagi [The electric drive the main ventilation installation on the oil mine, regulated taking into account action of general mine of natural draught]. *Gornoe oborudovanie i elektromekhanika*, 2012, no.11, pp.2-7.

Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом:

Николаев А.В. Способ раздельного проветривания уклоных блоков и подземных горных выработок нефтяной шахты // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2016. – Т.15, №20. – С.293–300. DOI: 10.15593/2224-9923/2016.20.10

Please cite this article in English as:

Nikolaev A.V. Method of the separate ventilation of oil mine's gradient excavations and underground mine drifts. *Bulletin of PNRPU. Geology. Oil & Gas Engineering & Mining*, 2016, vol.15, no.20, pp.293–300. DOI: 10.15593/2224-9923/2016.20.10