DOI: 10.25558/VOSTNII.2021.71.69.009

УДК 622.2;4;87;613.62;613.64;331.461 © А.И. Фомин, Т.В. Грунской, И.М. Анисимов, 2021

А.И. ФОМИН

д-р техн. наук, ведущий научный сотрудник АО «НЦ ВостНИИ» профессор КузГТУ г. Кемерово e-mail: fomin-ai@kuzbasscot.ru



Т.В. ГРУНСКОЙ

канд. техн. наук, доцент УГТУ г. Ухта e-mail: uxtacity@yandex.ru



И.М. АНИСИМОВ

канд. техн. наук, доцент КузГТУ г. Кемерово e-mail: <u>a</u>otp2012@yandex.ru



УЛУЧШЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА НА РАБОЧИХ МЕСТАХ В УСЛОВИЯХ ТЕРМОШАХТНОЙ ДОБЫЧИ ВЫСОКОВЯЗКОЙ НЕФТИ ЯРЕГСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

В работе обоснована необходимость разработки месторождений трудно извлекаемых запасов тяжелой высоковязкой нефти. В то же время существующие традиционные технологии добычи высоковязкой нефти не позволяют создать здоровые и безопасные условия труда на рабочих местах. Воздействие вредных и опасных факторов рабочей среды и трудового процесса приводит к увеличению профессионального риска, росту уровня профессиональной заболеваемости и производственного травматизма.

Существующие способы добычи высоковязкой нефти Ярегского месторождения термошахтным методом не позволяют нормализовать микроклиматические параметры в горных выработках, что приводит к снижению производительности труда, риску развития производственно-обусловленных и профессиональных заболеваний, травматизму.

С целью оздоровления условий труда работников подземной группы на основе проведенных расчетов и моделирования предложен новый подход к вскрытию месторождения тяжелой

Таблица 1

нефти и изменению схемы проветривания нефтедобывающих шахт — строительство модульных шахт, позволяющих нормализовать температурный режим, снизить эксплуатационные затраты, уровень травматизма и профессиональной заболеваемости.

Ключевые слова: ТЯЖЕЛАЯ НЕФТЬ, ЯРЕГСКОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ, ТЕМПЕРАТУР-НЫЙ РЕЖИМ, РИСК, ПРОФЕССИОНАЛЬНЫЕ ЗАБОЛЕВАНИЯ, МОДУЛЬНЫЕ НЕФТЯ-НЫЕ ШАХТЫ.

В связи с постепенным истощением запасов легкой нефти возникает проблема разработки месторождений тяжелой высоковязкой нефти, резервов которой более чем в 2 раза больше легкой. В силу своих физических свойств, она не может быть извлечена из недр традиционными способами.

В настоящее время запасы тяжелых сверхвязких нефтей и природных битумов разведа-

ны более чем на 1600 месторождениях.

Под трудно извлекаемой тяжелой нефтью подразумевают также сверхтяжелую нефть и природные битумы — нефть с плотностью более 0,920 г/см³.

Добываемое сегодня «черное золото» неоднородно по составу и плотности. В таблице 1 представлена мировая классификация нефти по плотности.

Мировая классификация нефти по плотности

Название нефти	Плотность нефти, г/см³	Плотность нефти в градусах АРІ		
Суперлегкая	До 0,780	Свыше 50		
Сверхлегкая	0,781 – 0,820	До 50		
Легкая	0,821 – 0,870	До 40		
Средняя	0,871 – 0,920	До 30		
Тяжелая	-0,921 – 1,000	До 20		
Сверхтяжелая	Свыше 1,000 (вязкость менее 10 000 мПа c)	До 10		
Природный битум	Свыше 1,000 (вязкость	До 10		

Запасы тяжелой нефти расположены на границах геологических бассейнов, являются остатками более легкой нефти.

На одном из старейших в стране эксплуатируемом Ярегском месторождении (открыто в 1932 году в 25 километрах от города Ухты) находится пятая часть тяжелой нефти России. На данном месторождении впервые в мировой практике добыча высоковязкой нефти осуществляется подземным термошахтным способом, для чего спроектированы, построены и эксплуатируются три нефтедобывающие шахты. Неглубокое залегание (200–220 м) и отсутствие попутного газа способствуют такому способу разработки месторождения.

Объемы добычи тяжелой нефти термошахтами ежегодно растут. Так, если в 2017 году было добыто 1,0 млн тонн, в 2018 году — 1,6 млн тонн, то к 2021 году планируется увеличить объемы добычи до 3 млн тонн. В то же время освоение запасов тяжелой нефти ограничивается в силу отсутствия современных и эффективных технологий ее добычи.

На нефтедобывающих шахтах применяется технология парогравитационного дренажа, основанная на тепловом воздействии насыщенным паром через скважины на рабочий пласт высоковязкой нефти, который разогревается, текучесть нефти увеличивается, после чего она выкачивается с нижнего горизонта на поверхность. Для разработки Ярегской площади в качестве основной используется подземно-поверхностная система термошахтной разработки: пар закачивается на границу блока, и

тепловой фронт перемещается от нее к добывающей галерее. Через плотную сетку скважин в пласт с поверхности или из надпластовой галереи нагнетается перегретый пар с температурой 150–200 °С. Данный способ разработки разогревает не только нефтяной пласт, но и горные выработки добычных галерей уклонных блоков нефтешахт.

Одним из важнейших сдерживающих факторов данной технологии ведения горных работ является повышенная температура и влажность воздуха на рабочих местах, приводящая к увеличению тепловой нагрузки на систему терморегуляции человека. Воздействие нагревающего микроклимата способствует накоплению избыточной теплоты в организме работников подземной группы, что негативно отражается на работе центральной нервной и сердечно-сосудистой систем, является причиной ухудшения самочувствия, снижения внимания и работоспособности, может стать причиной развития профессионального заболевания, несчастного случая, вплоть до летального исхода, так как нагревающий микроклимат оказывает сочетанное воздействие вредных и опасных производственных факторов, снижает устойчивость организма к отрицательному воздействию других факторов рабочей среды и трудового процесса.

Технология термошахтной добычи нефти предполагает нагнетание горячего пара в нефтяной пласт для снижения вязкости и повышения подвижности нефти, что формирует повышенную температуру и влажность воздуха. Исследования подтверждают, что уже на первой стадии температура добываемой нефтесодержащей продукции (НСП) превышает 80 °C, не происходит значительного ее снижения до конца эксплуатации уклонного блока.

Все известные технические решения нормализации микроклимата на рабочих местах не дают эффективных результатов для нефтяных шахт. Поэтому необходим поиск новых подходов к решению данной проблемы. В качестве одного из путей решения проблемы предлагается рассмотреть вариант перехода от протяженных и травмоопасных нефтяных шахт к проектированию и строительству модульных шахт для дальнейшего освоения Ярегского месторождения. Площадь одного добычного блока будет ограничиваться в основном длиной скважин, достигающих сегодня 800 метров, что позволяет вести отработку каждого участка одним модулем. На рис. 1 представлено формирование температурного режима модульной шахты.

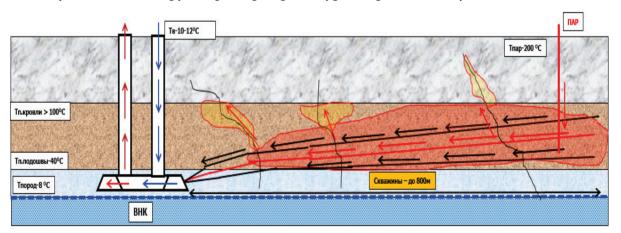


Рис. 1. Формирование температурного режима модульной шахты

Применение секционной схемы проветривания при разделении шахтного поля на блоки позволяет проветривать каждый блок самостоятельно, улучшить условия труда работников нефтяных шахт, снизить уровень профессиональных рисков, обусловленных воздействием нагревающего микроклимата.

Для нормализации параметров микроклимата в каждом блоке необходимо заложить воздухоподающий и воздухоотводящий стволы с применением центрально-отнесенной схемы вентиляции нефтяной шахты. Способ проветривания — всасывающий.

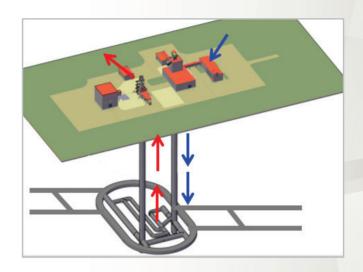


Рис. 2. Поверхностный и подземный комплекс стволов для строительства модульной шахты

Все околоствольные выработки нефтяной шахты и камеры располагаются в непосредственной близости от стволов: главного водоотлива, центральной подземной подстанции, склад взрывчатых материалов.

Дальнейшая разработка Ярегской площадки с использованием модульных шахт предусматривает строительство буровых галерей с нефтесборниками, размещенными крестообразно в добычном блоке с подъемным и вентиляционным стволами. Для нарезки блоков в крест простирания капитальные горные выработки проходятся с применением горнопроходческого комбайна КП21, а также буровзрывным способом.

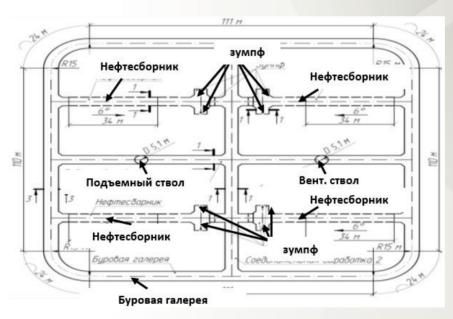


Рис. 3. Схема буровой галереи

Буровая галерея принята типовой для всех вариантов вскрытия.

В исследовании на основе различных вариантов схем проветривания, математического моделирования основных показателей получены значения суммарного расхода воздуха,

необходимого для обеспечения проветривания добычных уклонов, производительности главной вентиляционной установки (ГВУ), осуществлен выбор типа вентилятора главного проветривания модульной шахты (табл. 2).

Таблица 2

Технические	решения п	роветрива	ния модульн	ой шахты

Померован	Варианты схемы проветривания модульных шахт					
Показатель	Bap. 1	Bap. 2	Bap. 3	Bap. 4	Bap. 5	Bap. 6
Суммарный расход воздуха для проветривания шахты	74,4	74,4	74,4	74,4	230,9	192,1
Производительность ГВУ согласно выполненному математическому моделированию	Q = 78,5 м³/с H=480 Па	Q = 78,5 м³/с H=2635 Па	Q = 78,5 м³/с H=1150 Па	Q = 78,5 м³/с H=946 Па	Q = 234 м³/c H=4500 Па	Q = 220 м³/c H=2600 Па
Тип вентилятора главного проветривания	BO-20/12 AP	BO-21/14 AP	BO-20/12 AP	BO-20/12 AP	BO-28/18 AP	BO-28/18 AP

В данном исследовании произведен расчет потребного количества воздуха с построением схем и аэродинамических характеристик вентиляционного оборудования и вентилятора для выбора варианта проветривания модульной шахты.

В работе рассмотрено 6 вариантов вскрытия месторождения тяжелой нефти и проветривания горных выработок нефтяных шахт.

Первый вариант предусматривает вскрытие месторождения модульной шахты двумя вертикальными стволами (подъемным и вентиляционным).

Второй вариант — вскрытие модульной шахты одним подъемным стволом и вентиля-

ционной скважиной, схема проветривания — центральная, способ проветривания — всасывающий. Скважина служит вторым запасным выходом из шахты. Свежая струя воздуха подается в шахту по клетьевому стволу, удаляется через вертикальный вентиляционный ствол или вентиляционную скважину с использованием реверсивного осевого вентилятора серии ГВУ ВО 20/12АР. По выработкам околоствольного двора свежий воздух поступает на уклонные блоки, и далее в подготовительные и добычные забои.

На рис. 4 представлена схема проветривания модульных шахт.

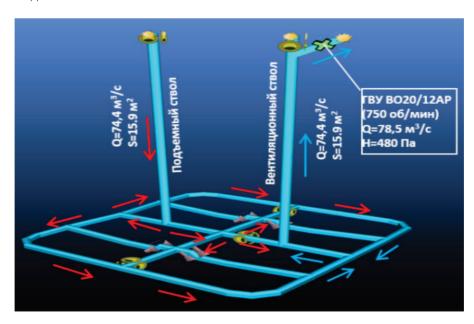


Рис. 4. Схема проветривания модульных шахт

Третий вариант предусматривает вскрытие модульной шахты одним наклонным подъемным стволом и наклонным вентиляционным стволом, или вентиляционной скважиной, служащей запасным аварийным выходом.

Четвертый вариант предусматривает вскрытие одним центральным подъемным стволом трех блоков (модульных шахт). Наклонный ствол проходится под углом 16° к буровой галереи. Сечения выработок наклонной части уклонов приняты минимальными $\mathrm{Snp} = 10,7~\mathrm{m}^2$, но отвечающими их предназначению и требованиям безопасности.

При исследовании рассмотрен пятый вариант, предусматривающий вскрытие месторождения наклонными стволами с одним центральным стволом с четырьмя вентиля-

ционными скважинами в буровых галереях. Секционное проветривание блоков осуществляется через вентиляционную скважину, являющуюся аварийно-спасательной, расположенной в галереях, через которую поступает свежий воздух в шахту и удаляется по подъемному стволу с помощью главной вентиляционной установки ГВУ ВО 28/18 АР. Сечения выработок для заезда в модульные шахты от клетьевого ствола приняты $Snp = 10,1 \text{ м}^2$. Проходка наклонно-транспортных съездов (НТС) возможна как с применением проходческого комбайна типа КП 150, так и комплексом самоходного оборудования. Продольный уклон наклона HTC составляет 10°, принят в соответствии с техническими возможностями самоходной техники на колесном ходу.

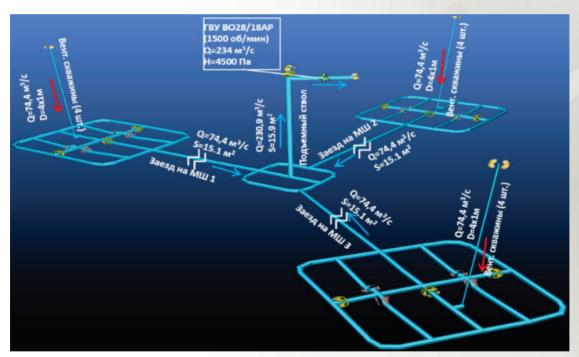


Рис. 5. Схема проветривания для варианта с центральным вскрытием 1-м стволом

Шестой вариант предусматривает вскрытие наклонно-транспортными съездами с двумя центральными стволами и тремя буровыми галереями. Откаточные и вентиляционные выработки, являющиеся главными магистралями модульных шахт от подъемного ствола, проходятся сечением Sпр = 14,6 м².

Для уменьшения вклада одного из основных источников тепловыделения в формирование нагревающего микроклимата предла-

гается в проектируемых модульных шахтах использовать закрытую систему нефтесбора, что значительно понизит температуру воздуха в буровых галереях.

Таким образом, для нормализации тепловых условий строительство модульных шахт позволяет сократить протяженность горных выработок, снизить температуру воздуха на рабочих местах в горных выработках. Строительство модульных шахт является рацио-

нальным вариантом вскрытия и отработки новых шахтных полей Ярегской площади с вскрытием запасов тяжелой нефти наклонными стволами с одним центральным стволом и вентиляционными скважинами в буровых галереях и центрально-сдвоенным расположением стволов с обратной отработкой площадей — от стволов к границам шахтного поля, с расположением стволов на границе шахтных полей.

Условия трудового процесса являются одним из основных факторов риска формирования профессиональной и профессионально обусловленной патологии. Уровень профессиональной заболеваемости сохраняется высоким. В Республике Коми за 2018 год зарегистрировано 292 случая хронических профессиональных заболеваний, в том числе на предприятиях добычи полезных ископаемых — 257 случаев, в городе Ухта — 26 случаев.

Наибольший удельный вес заболевших в профессиональных группах: проходчик, электрослесарь подземный, горнорабочий, мастер по проходке горных выработок.

Учитывая, что перспективы развития добывающей отрасли напрямую связаны с риском получения профпатологий, и придавая

социальную значимость проблеме сохранения жизни и здоровья работников нефтедобывающих шахт, необходимо проведение различного вида исследований по изучению комплексного влияния на организм уровней негативных факторов.

Основными вредными факторами, влияющими на формирование профессиональных заболеваний в нефтяных шахтах являются: виброакустические факторы тяжелый физический труд и неблагоприятный микроклимат, а основными причинами профзаболеваний являются: несовершенство технологического процесса (40 %), конструктивные недостатки оборудования (26 %), нарушение технологического процесса (12 %), неприменение СИЗ (7 %), недостатки в организации рабочих мест (8 %).

Предложенный способ термошахтной разработки месторождения высоковязкой нефти Ярегского месторождения модульными шахтами позволяет нормализовать микроклимат в горных выработках, снизить уровень профессиональных рисков и профессиональной заболеваемости работников, быть положительным примером при разработке других месторождений тяжелой трудно извлекаемой нефти России.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Государственный доклад «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации по республике Коми в 2018 году» // Управление Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Республике Коми. Сыктывкар, 2019. 147 с.
- 2. Фомин А.И., Грунской Т.В. Комплексная оценка профессиональных рисков работников подземной группы при добыче нефти термошахтным способом // Безопасность труда в промышленности. 2019. № 3 С. 81–86.
- 3. Фомин А.И., Грунской Т.В. Особенности формирования профессиональных заболеваний работников при разработке месторождений тяжелой нефти подземным способом // Вестник Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. 2019. № 1 С. 35–41.
- 4. 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: 29.02.2020).
- 5. Chertenkov 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.
- 6. Грунской Т.В., Бердник А.Г., Бердник М.М. Гигиеническая оценка риска развития профзаболеваний у работников, занятых термошахтной добычей нефти // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. 2018. Т. 18. № 1. С. 85–100.

7. Николаев А.В. Способ раздельного проветривания уклонных блоков и подземных горных выработок нефтяной шахты // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. 2016. Т. 15. № 2. С. 293–300.

DOI: 10.25558/VOSTNII.2021.71.69.009

UDC 622.2;4;87;613.62;613.64;331.461 © A.I. Fomin, T.V. Grunskoy, I.M. Anisimov, 2021

A.I. FOMIN

Doctor of Engineering Sciences, Leading Researcher JSC «SC VostNII» Professor of the Department KuzSTU, Kemerovo e-mail: fomin-ai@kuzbasscot.ru

T.V. GRUNSKY

Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor USTU Ukhta e-mail: uxtacity@yandex.ru

I.M. ANISIMOV

Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor KuzSTU Kemerovo e-mail: aotp2012@yandex.ru

IMPROVEMENT OF THE TEMPERATURE REGIME AT WORKPLACES IN THE CONDITIONS OF THERMAL MINING OF HIGH-VISCOSITY OIL OF THE YAREGSKOE FIELD

The paper substantiates the need for the development of hard-to-recover reserves of heavy high-viscosity oil. At the same time, existing traditional technologies for the production of high-viscosity oil do not allow creating healthy and safe working conditions at workplaces. Exposure to harmful and dangerous factors of the working environment and the labor process leads to an increase in occupational risk, an increase in the level of occupational morbidity and industrial injuries.

The existing methods for the production of high-viscosity oil from the Yarega field by the thermal mining method do not allow normalizing the microclimatic parameters in mine workings, which leads to a decrease in labor productivity, the risk of development of production-related and occupational diseases, injuries.

In order to improve the working conditions of underground workers, on the basis of the calculations and modeling, a new approach to the opening of a heavy oil field and changing the ventilation scheme of oil mines was proposed - the construction of modular mines that allow to normalize the temperature regime, reduce operating costs, the level of injuries and occupational diseases.

Keywords: HEAVY OIL, YAREGSKOE FIELD, TEMPERATURE REGIME, RISK, PROFESSIONAL DISEASES, MODULAR OIL MINES.

REFERENCES

- 1. State report «On the state of sanitary and epidemiological welfare of the population in the Russian Federation in the Komi Republic in 2018» // Administration of the Federal Service for Supervision of Consumer Rights Protection and Human Welfare in the Komi Republic. Syktyvkar, 2019. 147 p. [In Russ.].
- 2. Fomin A.I., Grunskoy T.V. Comprehensive assessment of occupational risks of underground workers during oil production by thermal mining method // Labor safety in industry [Bezopasnost truda v promyshlennosti]. 2019. No. 3. P. 81–86. [In Russ.].
- 3. Fomin A.I., Grunskoy T.V. Features of the formation of occupational diseases of workers in the development of heavy oil fields by underground method // Bulletin of the Scientific Center for the Safety of Work in the Coal Industry [Vestnik Nauchnogo tsentra po bezopasnosti rabot v ugolnoy promyshlennosti]. 2019. No. 1. P. 35–41. [In Russ.].
- 4. Federal norms and rules in the field of industrial safety «Safety rules for the development of oil fields by the mine method». 2016. URL: http://docs.cntd.ru/document/420385052 (date of the application: 29.02.2020). [In Russ.].
- 5. Chertenkov 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.
- 6. Grunskoy T.V., Berdnik A.G., Berdnik M.M. Hygienic assessment of the risk of developing occupational diseases in workers engaged in thermal mining of oil // Bulletin of the Perm National Research Polytechnic University. Geology. Oil and gas and mining [Vestnik Permskogo natsionalnogo issledovatelskogo politekhnicheskogo universiteta. Geologiya. Neftegazovoye i gornoye delo]. 2018. Vol. 18. No. 1. P. 85–100. [In Russ.].
- 7. Nikolaev A.V. Method of separate ventilation of inclined blocks and underground mine workings of an oil mine // Bulletin of the Perm National Research Polytechnic University. Geology. Oil and gas and mining [Vestnik Permskogo natsionalnogo issledovatelskogo politekhnicheskogo universiteta. Geologiya. Neftegazovoye i gornoye delo]. 2016. Vol. 15. No. 2. P. 293–300. [In Russ.].