



УДК 622.257(470.13)

ИССЛЕДОВАНИЕ ТРЕЩИНОВАТОСТИ ГОРНЫХ ПОРОД ЯРЕГСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ДЛЯ НОРМАЛИЗАЦИИ МИКРОКЛИМАТА С ЦЕЛЬЮ РАЗРАБОТКИ СОСТАВОВ ДЛЯ ИЗОЛЯЦИИ МЕСТ ВЫХОДА ПАРА

Фомин А.И.¹, Грунсковой Т.В.², Белкин И.А.², Трубицын А.А.¹, Трубицына Н.В.¹,
Копытов А.И.¹, Михайлов В.Г.¹, Тацienко В.П.¹, Дырдин В.В.¹

¹Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева

²Ухтинский государственный технический университет

Аннотация.

При разработке Ярегского месторождения термошахтным способом одним из осложняющих факторов является регулярный прорыв теплоносителя в горные выработки. Несмотря на то, что при термошахтной системе разработки нагнетание пара в пласт происходит на удалении от действующих горных выработок, это приводит к его неконтролируемым прорывам. Основной проблемой эксплуатации нефтешахт являются низкие темпы закачки теплоносителя из-за прорывов пара в выработки туффитового горизонта, ввиду чего закачка пара в паронагнетательные скважины ограничена. Главным минусом термошахтной системы разработки является увеличение температуры рудничной атмосферы и горного массива, прогрев пласта на расстоянии до 350 м от устья подземных паронагнетательных скважин. Повышение температуры шахтной атмосферы из-за прорывающегося пара приводит к сокращению времени присутствия рабочего персонала в горных выработках и нарушению режима эксплуатации скважин. Для продолжения эксплуатации участков прорыва теплоносителя ограничивают закачку пара, что в свою очередь приводит к снижению темпов добычи нефти. Одним из основных направлений решения задач закачки теплоносителя и предотвращения выхода пара в полевые штреки является разработка составов для изоляции точек прорыва пара в действующие горные выработки нефтешахт, что позволит снизить температуру воздуха на рабочих местах. Снижение негативного влияния прорывов пара в горные выработки является актуальной и важной задачей при добыче нефти термошахтным способом. В данной статье представлены результаты исследований трещиноватости горных пород Ярегского месторождения, испытаний по определению предела прочности на сжатие, времени реакции/схватывания, расхода материалов на образование 1 м³ состава смесей для ликвидации точек выхода пара в полевые штреки. Доказана эффективность применения изолирующих составов в трещиноватых горных породах Ярегского месторождения, которая объясняется повышением устойчивости горных выработок к прорывам теплоносителя, так как скрепляющий раствор будет проникать в трещины горного массива на глубину 0,5-0,8 м и выдерживать воздействие перегретого пара.



Информация о статье

Поступила:

21 октября 2024 г.

Рецензирование:

12 февраля 2025 г.

Принята к печати:

10 марта 2025 г.

Ключевые слова:

термошахтная технология,
Ярегское нефтетитановое
месторождение,
трещиноватость горных пород,
нефтешахта, нагревающий
микроклимат, прорывы пара.

Для цитирования: Фомин А.И., Грунсковой Т.В., Белкин И.А., Трубицын А.А., Трубицына Н.В., Копытов А.И., Михайлов В.Г., Тацienко В.П., Дырдин В.В. Исследование трещиноватости горных пород Ярегского месторождения для нормализации микроклимата с целью разработки составов для изоляции мест выхода пара // Техника и технология горного дела. – 2025. – № 2(29). – С. 4-25. – DOI: 10.26730/2618-7434-2025-2-4-25, EDN: VWHTPB



Введение

На Ярегском месторождении впервые в мировой практике добыча высоковязкой нефти осуществляется подземным термошахтным способом. Три нефтешахты размещаются на территории нефтетитанового месторождения на глубине 150-200 метров под землей [1].

Способ термошахтной разработки предусматривает вскрытие залежи подземными горизонтальными скважинами и горными выработками, основанный на тепловом воздействии насыщенного пара через скважины на рабочий пласт высоковязкой нефти, который разогревается, текучесть нефти увеличивается, после чего она выкачивается с нижнего горизонта на поверхность.

При разработке Ярегского месторождения термошахтным способом одним из осложняющих факторов является регулярный прорыв теплоносителя в горные выработки. Несмотря на то, что при подземно-поверхностной системе разработки нагнетание пара в пласт происходит на удалении от действующих горных выработок, это приводит к неконтролируемым прорывам пара в изолированные горные выработки.

В результате этого, из-за роста температуры и влажности рудничного воздуха, наряду с ухудшением условий труда подземных рабочих, происходит и интенсивное разрушение крепления горных выработок, образование вывалов, глухих завалов и, в конечном итоге, к нарушению системы общешахтной вентиляции, являющейся основной в функционировании жизнеобеспечения шахты.

Классификация и характеристика прорывов пара

В процессе вовлечения запасов в прогрев с 2016 года зафиксирован значительный рост участков паропроявлений (рис. 1). Агрессивные темпы вовлечения запасов и закачки теплоносителя способствуют росту количества точек выхода пара в горные выработки [2]. Как следствие этого работа подземного персонала во вредных условиях нагревающего микроклимата (температура рудничного воздуха выше допустимого значения¹); сокращение эксплуатации подземного фонда (продувки); ограничение нагнетательного фонда; предписания со стороны надзорных органов; остановка эксплуатации уклонного блока.



Рисунок 1 – Количество точек выхода пара в горные выработки в период с 2016 по 2022 гг.

Figure 1 – The number of points of steam output in mine workings from 2016 to 2022.

Во всех случаях основными причинами прорывов пара является наличие сети старых подземных добывающих скважин, пробуренных из буровых камер и «подсекание» изолированными горными выработками разогретой кровли 3-го пласта (горные выработки «туффитового» горизонта). Наряду с имеющимися «старыми» скважинами, дополнительным источником прорывов пара является развитая в пласте сеть тектонических нарушений. Возможной причиной прорывов является переход на разработку месторождения подземно-поверхностным способом, при котором давление закачки пара в пласт значительно превышает начальное пластовое, что, в свою очередь, способствует «раскрыванию» существующих и

¹ Приказ Ростехнадзора от 15.12.2020 г. № 534 Об утверждении ФНП в области ПБ «Правила безопасности в нефтяной и газовой промышленности»



созданию новых трещин. Как результат, возникновение прорывов пара в изолированные горные выработки и его утечки за счет общешахтной депрессии через вентиляционные перемычки в действующие горные выработки.

Таким образом, анализируя причины и места паропроявлений в выработки нефтешахт, можно выделить несколько типов прорывов пара (таблица 1) [2].

Таблица 1 – Классификация прорывов пара

Table 1 – Steam outbursts classification

1	по типу геологического и технологического нарушения горного массива	1. Прорыв пара из геологического нарушения (трещина, каверна и т.д.) в результате действия горного давления.
		2. Прорыв пара из нарушения в результате действия горношахтного оборудования или инструмента (бурение скважин, шпуров и т.д.).
2	по литологии пород горного массива	1. Прорыв пара в нефтенасыщенном песчанике (пласте)
		2. Прорыв пара во вспомогательных выработках (туффит, аргиллит и т.д.)
3	по интенсивности поступления пара	1. Слабая интенсивность прорыва пара, сопровождается незначительным увеличением температуры рудничного воздуха в месте прорыва, с наличием «запотевших» элементов крепи (массива) и без других визуальных признаков.
		2. Средняя интенсивность прорыва пара, сопровождается незначительным или значительным увеличением температуры рудничного воздуха в месте прорыва, с возможным наличием капежа конденсата и (или) визуального шлейфа пара.
		3. Сильная интенсивность прорыва пара, сопровождается значительным увеличением температуры рудничного воздуха в месте прорыва, сопровождается характерными звуками, с наличием капежа конденсата и (или) визуального шлейфа пара и (или) ограничением видимости.
4	по площади участка, на котором происходит прорыв пара	1. Точечный прорыв пара, протяженность до 2 метров.
		2. Локальный прорыв пара, протяженность до 5 метров
		3. Участковый прорыв пара, протяженность свыше 5 метров.
5	по степени нанесения ущерба и уровню опасности	1. Не опасный. При наблюдении за местом возникновения прорыва пара не происходят изменения состояния (изменение интенсивности и (или) протяженности) более одного месяца.
		2. Потенциально опасный. При наблюдении за местом возникновения прорыва пара происходят незначительные (постепенные) изменения состояния (изменение интенсивности и (или) протяженности) в течение одного месяца. Требуется планирование ликвидации.
		3. Опасный. Интенсивность прорыва пара меняется в считанные часы, требует немедленного оперативного реагирования.
6	по типу нарушения	1. Прорыв из горного массива.
		2. Прорыв подземного трубопровода (паропровода).
		3. Прорыв пара на устье подземной скважины.

Плотная сеть как новых, так и старых подземных скважин, значительная трещиноватость вмещающих пород приводит к свободной миграции закачиваемого пара (рис. 2) и его прорыву в



действующие горные выработки через массив горных пород, изолирующие сооружения и заколонное скважинное пространство.

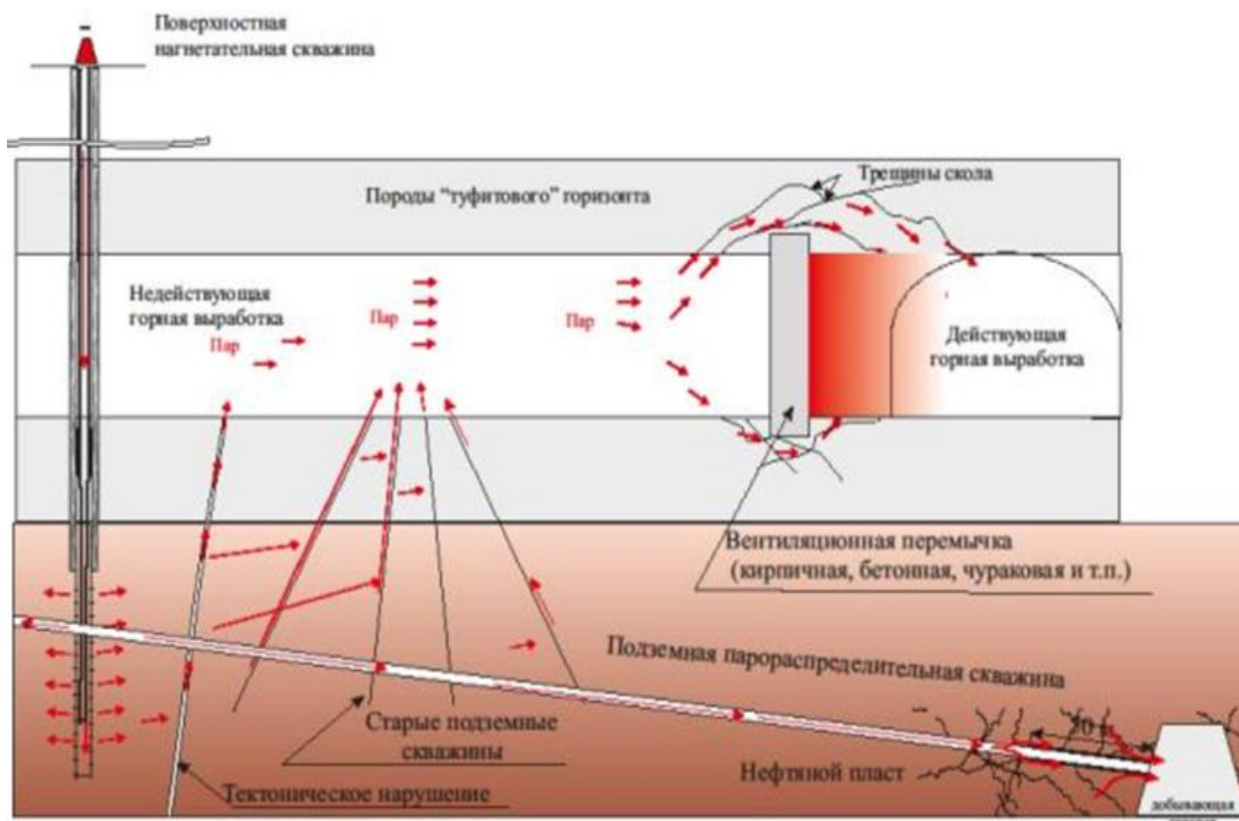


Рисунок 2 – Схема миграции пара в нефтешахтах
Figure 2 – Steam migration scheme in oil mines

Исследование трещиноватости горных пород Ярегского месторождения

Существующие горные выработки нефтяных шахт выполнены в следующих основных породах: полевые выработки выполняются в туффилах и аргиллитах, уклонные блоки в нефтенасыщенных песчаниках. Свойства горных пород, в которых строятся горные выработки, имеют широкий диапазон значений характеристик.

Все породы месторождения в различной степени трещиноваты и пересекаются дизъюнктивными нарушениями. Особое значение это имеет для продуктивных отложений, поскольку в значительной степени определяет их фильтрационно-емкостные свойства [3].

Центральная часть месторождения, на территории которой спроектированы и пройдены уклонные блоки, покрыта густой сетью трещин, большинство которых субмеридиального характера.

Детальное изучение дизъюнктивной тектоники и трещиноватости III пласта, а также вмещающих пород произведено при проходке горных выработок при шахтном способе разработки. Так, фиксируются нарушения:

- крупные, редкие, протяженностью 1-3 км со смещением до 10 м;
- средние, протяженностью сотни метров сбросы и взбросы с амплитудой смещения до 2 м;
- мелкие, измеряемые десятками метров со смещением до 0,7 м.

По данным шахтной разработки в верхней части продуктивного пласта III трещины и дизъюнктивы встречаются в среднем через каждые 25 м, в нижней части вблизи фундамента – через 9 м. Амплитуды смещения обычно незначительны, редко до 10 м.

Таким образом, все горные выработки уклонного блока пройдены в трещиноватых и изрезанных тектоническими нарушениями породах. Поддержание выработок в рабочем



состоянии в массиве с нарушениями подразумевает выполнение подбора крепи выработок с избыточными характеристиками.

Значительная сеть трещиноватости различных зон Ярегской площади подтверждается результатами проводимых сейсмических исследований. Наглядно количество и протяженность разрывных и сдвиговых нарушений отражены на примере эксплуатационных блоков 2Т-4, 3Т-4 (рис. 3, 4).

Для определения оптимального способа поддержания выработок необходимо учитывать неоднородность нефтесодержащих пород, их физикомеханические характеристики, карты трещиноватости массива и другие факторы, оказывающие влияние на выбор схемы поддержания выработок.

Поэтому подход к проектированию каждого уклонного блока должен выполняться индивидуально с учетом наличия факторов, определяющих оптимальный способ поддержания выработок, на участке месторождения и уточняться фактическими данными, полученными при вскрытии участка [4].

Заполнение геологических нарушений в приконтурном массиве

При проведении натурных наблюдений за состоянием горных выработок нефтешахт было выявлено, что одной из форм потери их устойчивости является куполообразование в кровле и выход горной массы в выработку (вывал) в зонах скрытой трещиноватости и нарушенности в результате прогрева паром нефтенасыщенного пласта или появления капежа.

К тампонажным растворам, применяемым на нефтешахтах в настоящее время, предъявляют следующие требования [5-7]: хорошая текучесть; способность проникать в любые поры и микротрещины; хорошая сцепляемость с горными породами; восприимчивость к обработке с целью регулирования свойств; отсутствие взаимодействия с тампонируемыми породами и пластовыми водами; стабильность при повышенных температуре и давлении; отсутствие усадки с образованием трещин при твердении; устойчивость к воздействию пара (теплоносителя); – быть негорючими, горючими (группа не ниже Г1 по ГОСТ 30244-94); сырье должно быть недефицитным и недорогим; отсутствие нанесения вреда окружающей среде и др.

В качестве тампонажных растворов возможно применение таких материалов, как: двухкомпонентная вспенивающаяся смола «Geofoam» (ЗАО «КарбоЦАКК»); двухкомпонентная фенольная смола «Блокфил» (ООО «ДСИ Техно»); двухкомпонентная вспенивающаяся смола «Grand Rock 310» (ООО «ПАРАД-РУСЬ»).

Область применения двухкомпонентной вспенивающейся смолы «Geofoam»: заполнение пустот и куполов; заполнение трещин в нарушенном массиве; заполнение и уплотнение вентиляционных перемычек.

Органоминеральная смола «Geofoam» состоит из двух жидких компонентов, которые в объемном соотношении 1:1 при помощи насоса подаются отдельно по шлангам, перемешиваются в смесителе и затем наносятся на подготовленную поверхность опалубки или в заполняемую полость. Реакция компонентов происходит с увеличением объема полимерного состава. Компонент А – модифицированное жидкое стекло (канистры по 35 кг). Компонент Б – модифицированный изоцианат (канистры по 30 кг).

Область применения двухкомпонентной фенольной смолы «Блокфил»: применение в рудниках и шахтах, в том числе опасных по газу и пыли; заполнение вывалов и куполов; для противопожарной изоляции, герметизации перемычек, газоизоляции.

Оба компонента смолы «Блокфил» при помощи специального двухкомпонентного насоса в требуемом соотношении 4:1 или 3:1 подаются по высоконапорным шлангам к статическому смесителю, перемешиваются и нагнетаются по подающим трубкам за опалубку. Смешанные компоненты смолы начинают вспениваться и заполнять имеющиеся пустоты и полости.

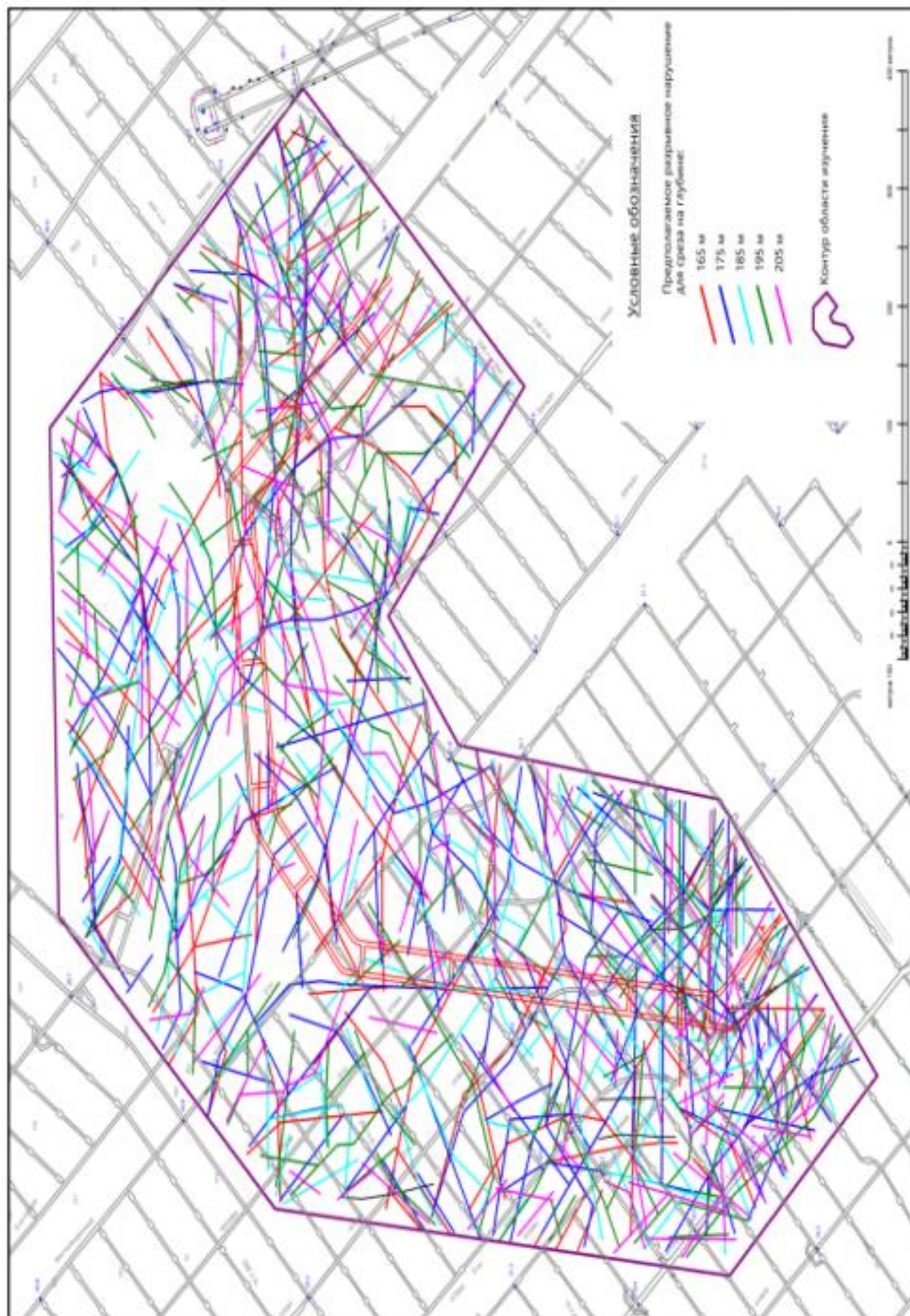


Рисунок 3 – Разрывные нарушения участка 2Т-4, 3Т-4
Figure 3 – Disjunctive dislocations of area 2T-4, 3T-4

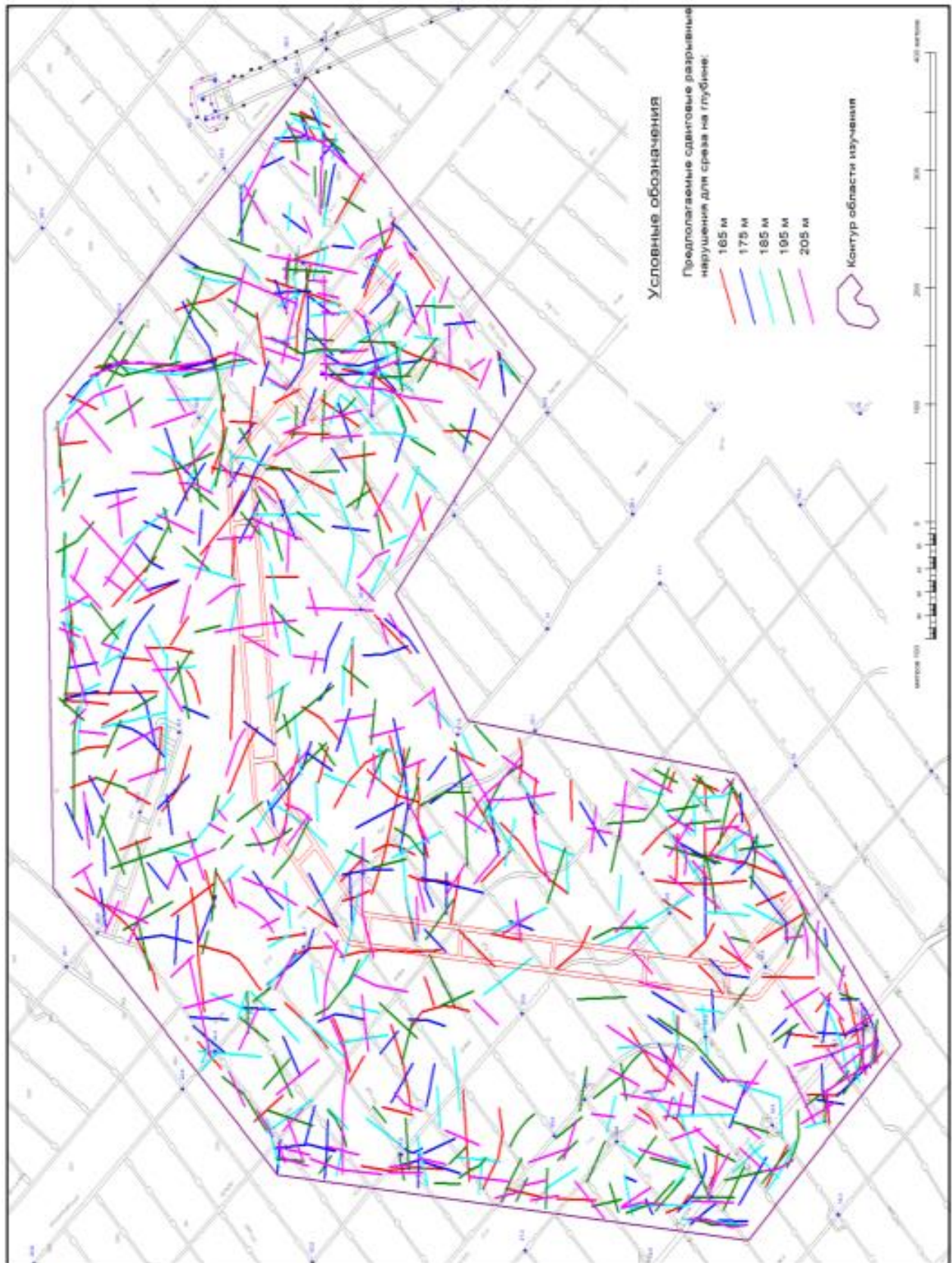


Рисунок 4 – Сдвиговые нарушения участка 2Т-4, 3Т-4

Figure 4 – Strike-slip dislocations of area 2T-4, 3T-4



Двухкомпонентная полиуретановая смола «Grand Rock 310» специально разработана для быстрой остановки воды в осложненных условиях с большим притоком воды. Данная смесь имеет широкий спектр свойств и преимуществ: работает в холодной или горячей воде; остановка средних и больших водопритоков в горных выработках; тиксотропные свойства придают пене стабильность и антирастворительный эффект в сильном потоке воды; незаменим, когда требуется быстрая структурная прочность; в сухих условиях продукт формирует тугой, резиноподобный материал; быстрое увеличение вязкости; – при контакте с водой происходит быстрая реакция вспенивания; при контакте с водой продукт формирует жесткую пену [8].

Оба компонента смолы «Grand Rock 310» при помощи специального двухкомпонентного насоса в требуемом соотношении 1:1 подаются по высоконапорным шлангам к статическому смесителю, перемешиваются и нагнетаются по подающим трубкам. Реакция компонентов происходит с увеличением объема полимерного состава. Компонент А – канистры по 25 кг. Компонент В – канистры по 30 кг. Смешанные компоненты смолы начинают вспениваться и заполнять имеющиеся пустоты и полости [9-13].

Характеристики реакции двухкомпонентной вспенивающейся смолы «Геофом», двухкомпонентной фенольной смолы «Блокфил» и двухкомпонентной полиуретановой смолы «Grand Rock 310» показаны в таблице 2. Характеристики компонентов приведены в таблице 3.

Таблица 2 – Характеристики реакций двухкомпонентных смол «Geofoam», «Блокфил» и «Grand Rock 310»

Table 2 – Reaction characteristics of two-component resins «Geofoam», «Blockfill» and «Grand Rock 310»

Показатели	«Geofoam»	«Блокфил»		«Grand Rock 310»
		Соотношение компонентов А/Б = 4/1	Соотношение компонентов А/Б = 3/1	
Время начала реакции (вспенивания) при 15 °С	0'25"±10"	мгновенно		
Время окончания вспенивания	1'25"±20"	380±20	360±20	2'30"±30"
Температура реакции, °С	98	< 90		86
Фактор вспенивания, о.е.	30–40	35±10	30±10	20
Расход на образование 1 м³ пены, кг	45–60	40±10	45±10	80
Предел прочности на сжатие, МПа	0,35–0,4	0,06	0,1	-

Таблица 3 – Характеристики продуктов «Geofoam», «Блокфил» и «Grand Rock 310»

Table 3 – Characteristics of «Geofoam», «Blockfill» and «Grand Rock 310» products

Показатели	«Geofoam»		«Блокфил»		«Grand Rock 310»	
	комп. А	комп. В	комп. А	комп. В	комп. А	комп. В
Плотность при 20 °С, г/см	1,45±30	1,14±30	1,29±0,2	1,58±0,2	1,49	1,16
Цвет	прозрачный	темно-коричневый	светло-коричневый	розовый или коричневый	прозрачный	темно-коричневый
Вязкость, при 15 °С (25 °С), МПа·с	140±30	140±30	200–800	50–100	300	115

Заполнение пустот и трещин тампонирующими растворами в условиях термошахтной добычи нефти может быть осуществлено с использованием следующего оборудования:

- вагонетка ВГ-1,3 – для доставки до места работ специальных емкостей пенообразующих растворов или готовых смесей;
- насосный агрегат SK90 1:1 и SK90 4:1 (для смесей «Geofoam» и «Блокфил» соответственно, для смеси «Grand Rock 310» возможно применение имеющегося насосного



агрегата SK90 1:1), предназначенными для производства и подачи в установленных пропорциях продуктов для нагнетания в массив горных выработок.

Эффективность применения тампонирующего раствора в трещиноватых горных породах Ярегского месторождения объясняется повышением устойчивости горных выработок, так как скрепляющий раствор будет проникать в трещины приконтурного массива на глубину 0,5–0,8 м.

Даже при обычном тампонаже под давлением 0,15–0,20 МПа будет происходить упрочнение пород приконтурной зоны, в результате чего произойдет повышение устойчивости всего породного обнажения [15–17].

Заполнение геологических нарушений за приконтурным массивом

Еще одним эффективным средством в условиях нефтешахт, с точки зрения влияния на устойчивость породных обнажений, может являться глубинная инъекция скрепляющих растворов в приконтурный массив горных пород, которая производится на глубину 1,5–3 м под давлением 3–3,5 МПа.

С помощью упрочнения пород произойдет значительное уменьшение деформации в породном массиве и как результат – снижение требуемой грузонесущей способности крепи, что в свою очередь позволит применить облегченные виды крепления горных выработок, обеспечивающие устойчивое состояние на весь технологический срок службы выработок.

Скрепленный массив будет образовывать монолитную грузонесущую оболочку и не пропускать пар к приконтурному массиву горной выработки.

Работая как несущая конструкция, эта оболочка будет способна воспринимать значительные нагрузки, величины которых будут зависеть от состава, вяжущего со стороны смеси и противостоять дальнейшему развитию зоны неупругих деформаций.

Реализация данного способа будет успешной для нефтяных шахт в том случае, если будет найден дешёвый материал для заполнения пустот и скрепления горных пород (возможно разработанный из местного сырья).

Таким образом, возникает необходимость подбора оборудования и необходимых материалов, оптимальных для выполнения тампонирующего течения геологических нарушений в массиве горных пород в условиях нефтешахт.

Для проведения глубинного инъецирования с целью упрочнения пород рассматривается применение следующих специальных инъекционных материалов:

- смола «Беведел Р ВФ – Беведан Р» (ЗАО «Карбо-ЦАКК»);
- смола «Беведел Р С – Беведан Р» (ЗАО «Карбо-ЦАКК»);
- смола «Беведел Р ВФА – Беведан Р» (ЗАО «Карбо-ЦАКК»);
- смола «Grand Rock 310» (ООО «ПАРАД-РУСЬ»);
- микроцементы «ULTRACEM» (ООО «ПАРАД-РУСЬ»);
- сухая цементная смесь «Барьер» (ООО «КПС-Технологии»);
- цементный порошок «Текбленд» (ЗАО «Карбо-ЦАКК»);
- цементная смесь «Текбар» (ЗАО «Карбо-ЦАКК»).

Рассматриваемые инъекционные материалы применяют для гидроизоляции горных выработок, упрочнения неустойчивых и нарушенных горных пород, а также упрочнения пород кровли в очистных и подготовительных забоях, тампонажа горного массива для уменьшения газопроницаемости.

В качестве двухкомпонентных полиуретановых смол подобраны инъекционные материалы для упрочнения:

- «Беведел Р ВФ – Беведан Р»;
- «Беведел Р С – Беведан Р»;
- «Беведел Р ВФА – Беведан Р»;
- «Grand Rock 310».

Общий принцип действия двухкомпонентных полиуретановых смол – вспенивание и увеличение объёма при смешивании, в результате чего в массиве формируется упрочненная область, проклеенная вспененным составом.

Двухкомпонентная смола «Беведел Р С – Беведан Р» увеличивается в объёме за счет реакции, происходящей при смешивании компонентов А и Б, и подходит для укрепления сухих



и слабо влажных породных массивов. В результате реакции смола увеличивается в 1,5–3,5 раз от первоначального объёма в зависимости от форм тампонируемых трещин. Конечное состояние продукта – твёрдая пена.

В отличие от смолы «Беведол Р С – Беведан Р», составы «Беведол Р ВФ – Беведан Р», «Беведол Р ВФА – Беведан Р» и «Grand Rock 310» начинают проявлять свои свойства при обводненных условиях (рис. 5).

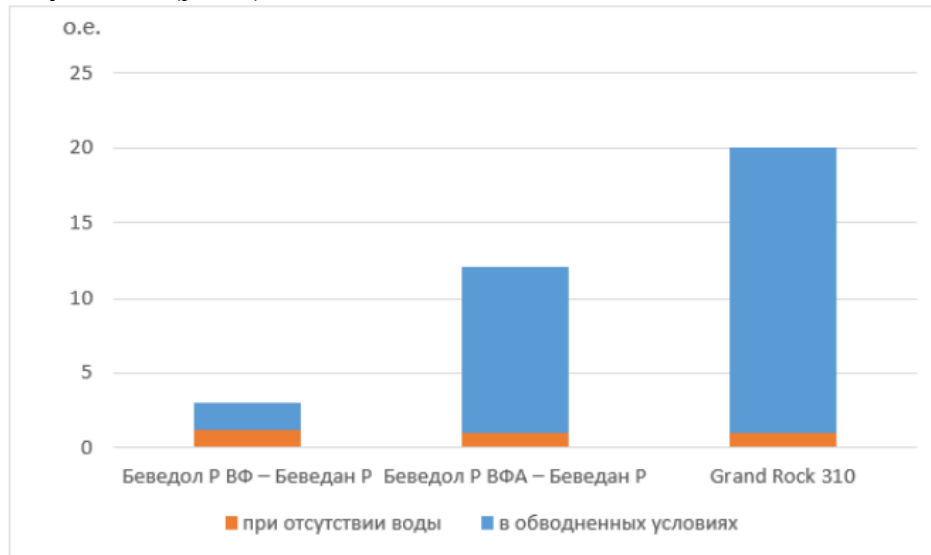


Рисунок 5 – Перспективные значения фактора вспенивания (о.е.) полиуретановых смол в зависимости от условий обводненности трещин

Figure 5 – Projected values of the foaming factor (o.e.) of polyurethane resins depending on the water saturation conditions of cracks

На представленном графике видно, что после смешивания с водой реакция вспенивания полиуретановой смеси протекает со значительным увеличением объема (значительно превосходящим реакцию смол в обычных условиях при отсутствии воды), что говорит о выигрышности применения данных смол в обводненном приконтурном массиве. Также, можно отметить показатель вспенивания смолы «Grand Rock 310», превосходящий значения иных двухкомпонентных смол в 2 и 4 раза.

Прочностные характеристики материалов

Согласно представленным техническим характеристикам материалов, набор прочности на сжатие в течение первых суток составляет 30–93 % в зависимости от типа смеси (см. рис. 6). Наблюдается несильный разброс в показателях набора прочности на сжатие за первые сутки. Также можно отметить, что в приобретении прочностных характеристик выделяются цементный порошок «Текбленд» и цементная смесь «Текбар», так как в первые сутки смеси приобретают до 93 % от заявленной прочности на сжатие. Составы на основе цементов обладают прочностью на сжатие в десятки раз превышающей прочность составов, состоящих из фенольных и силикатных смол. Микроцементы «ULTRACEM» на более чем 60 % превышают показатели предела прочности через 28 суток, в сравнении с аналогами.

Расход материала

На рисунке 7 представлен график расхода материалов по заполнению пустот для приготовления 1 м³ раствора. Пропорции смешивания воды и представленных цементных смесей могут варьироваться в диапазонах от 0,45:1 до 2:1 в зависимости от смеси, чем определяется предел прочности нагнетаемой смеси. Наблюдается общая динамика – чем выше ожидаемая прочность материала, тем больше материала требуется для приготовления раствора. Выделяется цементная смесь с показателем расхода сухой смеси 1000 кг на 1 м³ (при соотношении воды и цементной смеси 0,45:1), ввиду более высокой несущей способности по сравнению с обычными песчаноцементными смесями.

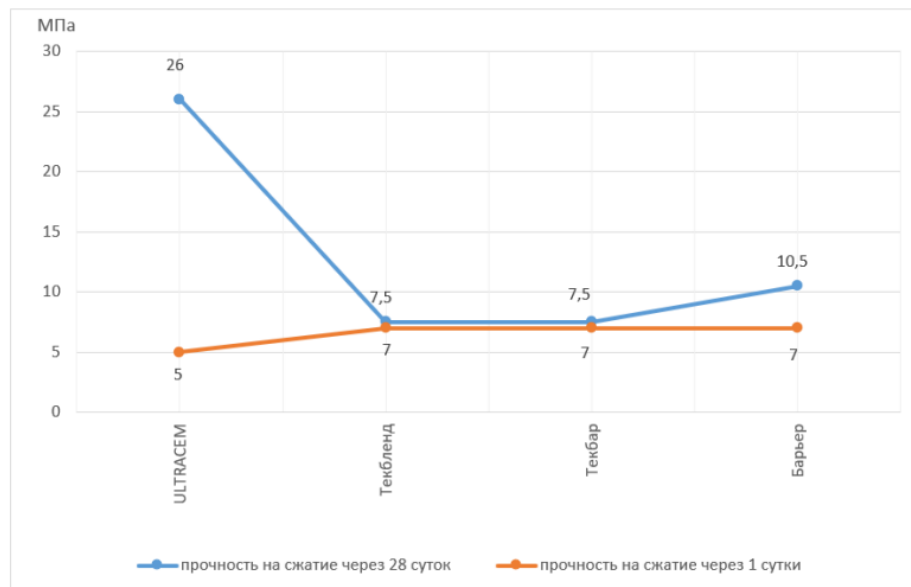


Рисунок 6 – Зависимость набора прочности на сжатие (МПа) цементных составов через 1 сутки и 28 суток

Figure 6 – Dependence of compressive strength (MPa) of cement compositions after 1 day and 28 days

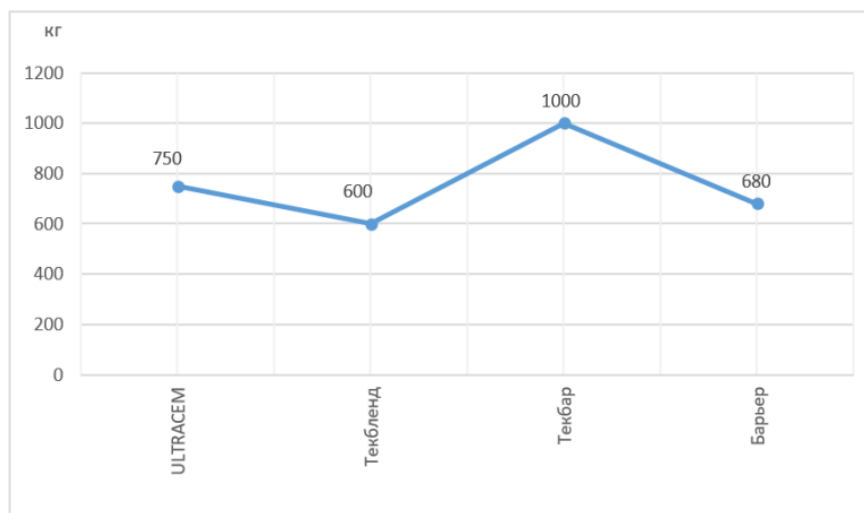


Рисунок 7 – Расход материала (кг) для приготовления 1 м³ цементного раствора

Figure 7 – Material consumption (kg) for preparing 1 m³ of cement mortar

Время схватывания цементных смесей

Время схватывания цементных смесей варьируется в пределах от 2 до 7 минут (см. рис. 8) и определяется температурой раствора, воды и окружающей среды. По заявленным характеристикам, время потери текучести смеси «Барьер» не более 3 минут – самый быстросхватывающийся раствор среди представленных. Смеси с высокой несущей способностью от компаний ООО «ПАРАД-РУСЬ» и ЗАО «Карбо-ЦАКК» имеют наибольшее время схватывания растворов среди рассматриваемых составов – до 7 минут, при этом показатели времени начала схватывания растворов из смесей «Текбленд» и «ULTRACEM» наихудшие – три минуты. Стоит отметить, что компания ООО «ПАРАД-РУСЬ» имеет возможность введения специальных добавок, что позволяет как ускорять, так и замедлять время схватывания смеси.



Тип подбираемых инъекционных материалов зависит от величины зоны трещиноватости вокруг горной выработки, размеров трещин и физикомеханических свойств горных пород.

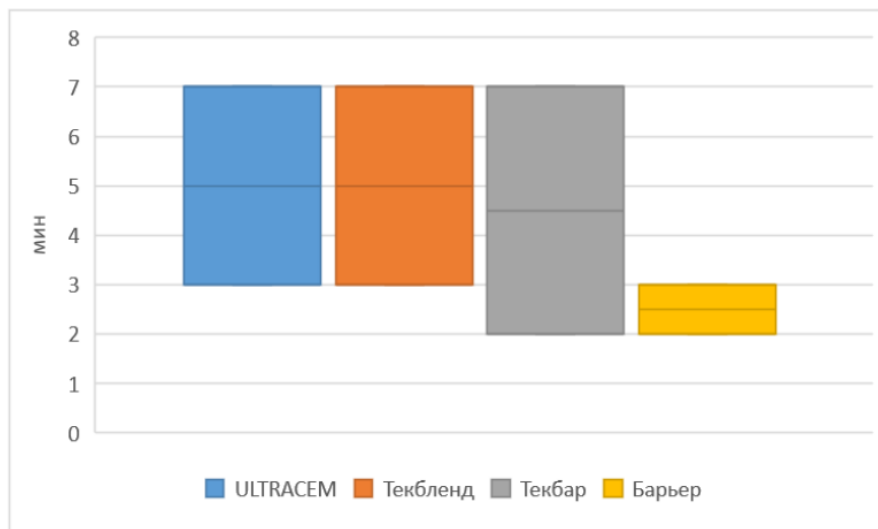


Рисунок 8 – Время схватывания (мин) цементных смесей
Figure 8 – Grout setting time (min) of cement mixtures

Таким образом, для проведения глубинного инъецирования приконтурного массива горных пород в качестве скрепляющих составов возможно применение двухкомпонентных полиуретановых смол и сухих расширяющихся смесей. При этом, нагнетание смол «Grand Rock 310», «Беведол Р ВФ – Беведан Р» и «Беведол Р ВФА – Беведан Р» рекомендуется в обводненный массив горных пород, так как при реакции с водой отмечается максимальные значения вспенивания составов. Одновременно с упрочнением массива составы подходят для гидроизоляции горных выработок. Состав «Беведол Р С – Беведан Р» подойдет для применения в сухих и слабо влажных породах, так как вспенивание/расширение происходит при взаимодействии основных компонентов состава.

Рациональное применение смесей «Текбленд», «Текбар», «Барьер» и «ULTRACEM» определяется при заполнении пустот и куполов, проявившихся в горных выработках со сложными горно-геологическими условиями (присутствие значительной трещиноватости, обводненности, резкого повышения горного давления, пустот в кровле и боках, сыпучих пород), ввиду их более высокой несущей способности и прочности на сжатие (до 26 МПа у смеси «ULTRACEM»). Прочностные характеристики достигаются за счет значительного расхода сухих смесей – до 1000 кг на 1 м³, при соотношении смешивания воды и цементных смесей от 0,45:1 до 1,5:1. Для подачи готовых растворов также применяются насосные агрегаты типа ПБН-15 КПС, MONO WT 820. Среди данных цементных смесей скоростью схватывания раствора выделяются смеси «ULTRACEM» и «Барьер» – не более 3 минут, что определяет скорость заполнения пустот. У смесей «Текбленд» и «ULTRACEM» отмечается возможность работы в обводнённых условиях, что значительно расширяет область применения раствора на нефтешахтах. Для предотвращения чрезмерных утечек цементных растворов, их укладку также рекомендуется выполнять с применением герметичной опалубки. Смесь «ULTRACEM» индивидуального изготовления, после проведения ОПИ поставщик может изменить технические характеристики под конкретные задачи и горно-геологические условия.

Заполнение закрепного пространства и куполов

Согласно п. 1685 ФНП «Правила безопасности в нефтяной и газовой промышленности»² при проведении, креплении и ремонте горных выработок принимаются меры, исключаящие

² Приказ Ростехнадзора от 15.12.2020 г. № 534 Об утверждении ФНП в области ПБ «Правила безопасности в нефтяной и газовой промышленности»



образование пустот в закреплённом пространстве. Образовавшиеся пустоты закладываются или тампонируются.

Согласно п. 4.10 СП 69.13330.2016 «Подземные горные выработки. Актуализированная редакция СНиП 3.02.03-84»³, полости, образованные в результате вывалов пород, должны быть забутованы или затампонированы несгораемыми и нетоксичными материалами, в качестве вяжущего для забутовочного материала следует применять цемент.

Упрочнение кровли и стенок выработок в условиях нефтешахт в зонах трещиноватости и нарушенности может быть достигнуто предварительным или последующим упрочнением массива горных пород тампонажными растворами (на основе вяжущих известняков или их комбинации с цементными вяжущими веществами). В результате скрепления трещиноватых пород зоны неупругих деформаций вокруг выработки восстанавливается геометрия приконтурного слоя пород.

Тампонаж крепящего пространства, проведенный в течение одного месяца после проходки выработки, в 1,8-2,5 раза сокращает величину конечных смещений массива горных пород.

Анализ строения вмещающего массива горных пород показал, что основными формами проявления горного давления при поддержании выработок будут являться вывалы породы из кровли (образование куполов) и боков выработок. Размеры вывалов могут достигать значительных размеров: до 12-15 м по высоте и более (при пересечении горной выработкой вертикальных геологических нарушений) и до 0,5-1,0 м в боках выработок. По длине выработки протяженность нарушенных зон может достигать 150 метров.

В связи с этим применяемые составы должны обладать следующими характеристиками:

- материал должен быть несгораемый и нетоксичный;
- низкой стоимостью;
- иметь низкий расход материала на заполнение единицы объёма.

Анализ существующих и предлагаемых материалов для заполнения пустот

Для анализа были подобраны (в том числе применяющиеся на нефтяных шахтах) следующие составы, позволяющие заполнить полости, образованные в горных выработках:

- органоминеральная смола «Геофом» (ЗАО «Карбо-ЦАКК»);
- фенольная смола «Экофлекс (Карбофил)» (ЗАО «Карбо-ЦАКК»);
- пена на основе силиката полимочевины «MasterRoc MP 367 Foam» (ООО «МБС Строительные системы»);
- фенольная смола «Блокфил» (ООО «ДСИ Техно»);
- сухая цементная смесь «Текфом» (ЗАО «Карбо-ЦАКК»);
- сухая пенобетонная смесь «FoamFill» (ООО «МСТ»);
- смола «Grand Rock 330» (ООО «ПАРАД-РУСЬ»);
- сухая цементная смесь «Распор» (ООО «КПС-Технологии»).

Компоненты А и Б/В двухкомпонентных смол смешиваются и подаются при помощи насосов SK90 1:1 и SK90 4:1.

Легкие бетоны изготавливаются на месте применения путём смешивания сухих смесей с водой. Для механизированной подачи растворов используется насосные агрегаты типа ПБН-15 КПС, MONO WT 820. Все представленные смеси, согласно описанию производителя, применяются для заполнения пустот и куполов в горных выработках.

Прочностные характеристики материалов

Согласно представленным техническим характеристикам материалов, набор прочности на сжатие в течение первых суток составляет 90–100 % в зависимости от типа смеси (см. рис. 9). Наблюдается сильный разброс в показателях набора прочности на сжатие за первые сутки и отсутствие значений у составов «Текфом», «FoamFill» и всех составов на основе смол, кроме «Grand Rock 330», которая в первые сутки приобретает 100 % от заявленной прочности на сжатие.

³ СП 69.13330.2016 «Подземные горные выработки. Актуализированная редакция СНиП 3.02.03-84»

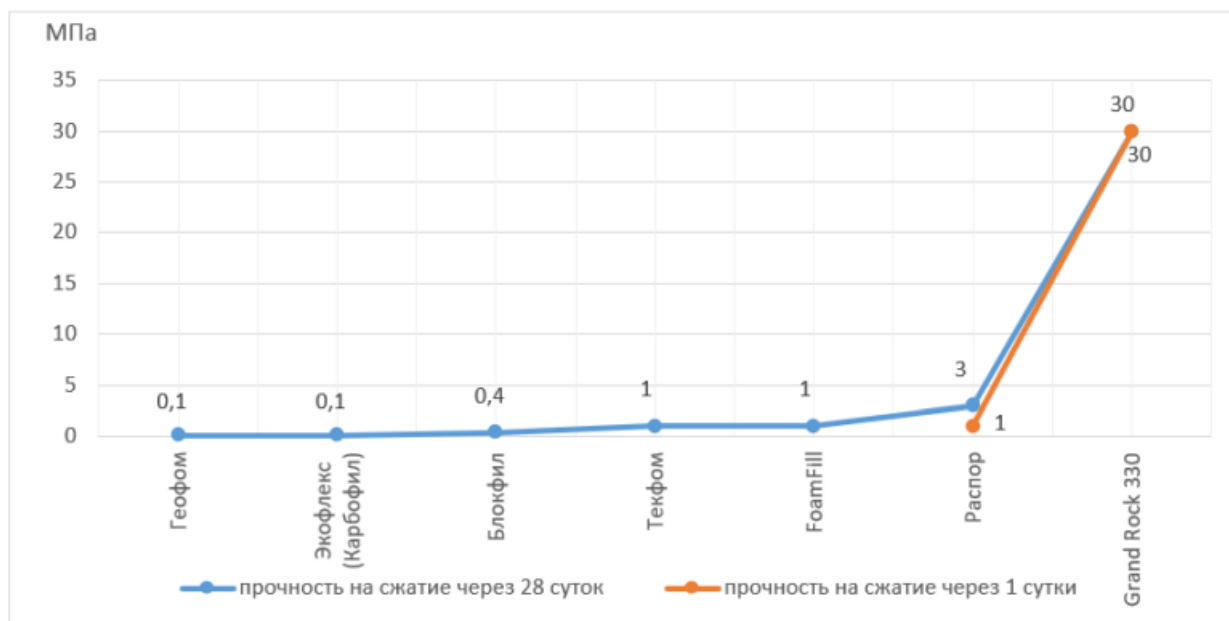


Рисунок 9 – Зависимость набора прочности на сжатие (МПа) смолы через 1 сутки и 28 суток
Figure 9 – Dependence of the compressive strength (MPa) of the resin after 1 day and 28 days

Расход материала

На рис. 10 представлен график расхода материалов по заполнению пустот для приготовления 1 м³ раствора. Расход составов на основе смол значительно ниже, чем у составов на вяжущем из цемента, за счет фактора вспенивания после реакции при смешивании компонентов А и Б. Смола «Grand Rock 330» требует самый высокий расход материалов исходя из своих свойств не впитывать воду и не увеличиваться в объеме при контакте с водой, что создает высокие прочностные характеристики данного материала. Пропорции смешивания воды и представленных цементных смесей могут варьироваться в диапазонах от 0,45:1 до 2:1 в зависимости от смеси, чем определяется предел прочности нагнетаемой смеси.

Наблюдается общая динамика – чем выше ожидаемая прочность материала, тем больше материала требуется для приготовления раствора. Выделяется смола с показателем расхода сухой смеси 1350 кг на 1 м³ и прочностью выше самих вмещающих пород (при соотношении компонентов А и В 1:1).

Время реакции двухкомпонентных смол

Фактор вспенивания двухкомпонентных составов варьируется в интервалах от 30 до 40 и во многом определяется температурой окружающей среды. Также от температуры зависит время протекания реакции вспенивания (см. рис. 11), значения времени приведены для наихудших условий). На диаграмме видно, что пена «MasterRoc MP 367 Foam» и смола «Геофом» имеют минимальный интервал протекания реакции – в пределах одной минуты. Фенольная смола от компании ООО «ДСИ Техно» обладает мгновенным началом реакции вспенивания, но длительность реакции составляет почти семь минут. Время протекания реакций смолы «Экофлекс (Карбофил)» имеют средние значения. Смола от компании ООО «ПАРАДРУСЬ» имеет самое продолжительное время реакции.

Время схватывания цементных и пенобетонных смесей

Время схватывания цементных и пенобетонных смесей одинаково и варьируется в пределах от 2 до 5 минут. По заявленным характеристикам, время потери текучести смесей не более 5 минут. Смеси «Распор» и «Текфом» обладают средними значениями времени схватывания.

Рекомендации по применению представленных материалов

Основными преимуществами использования данных составов для заполнения пустот и куполов закрепного пространства горной выработки являются:

- высокомеханизированный способ укладки растворов;
- высокая скорость заполнения пустот, до 15 м³ готовой смеси в 1 час;



– высокая скорость отверждения полимерного состава, которая позволяет быстро проводить работы по заполнению пустот.

Основные характеристики продуктов и особенности их применения представлены в табл. 4.

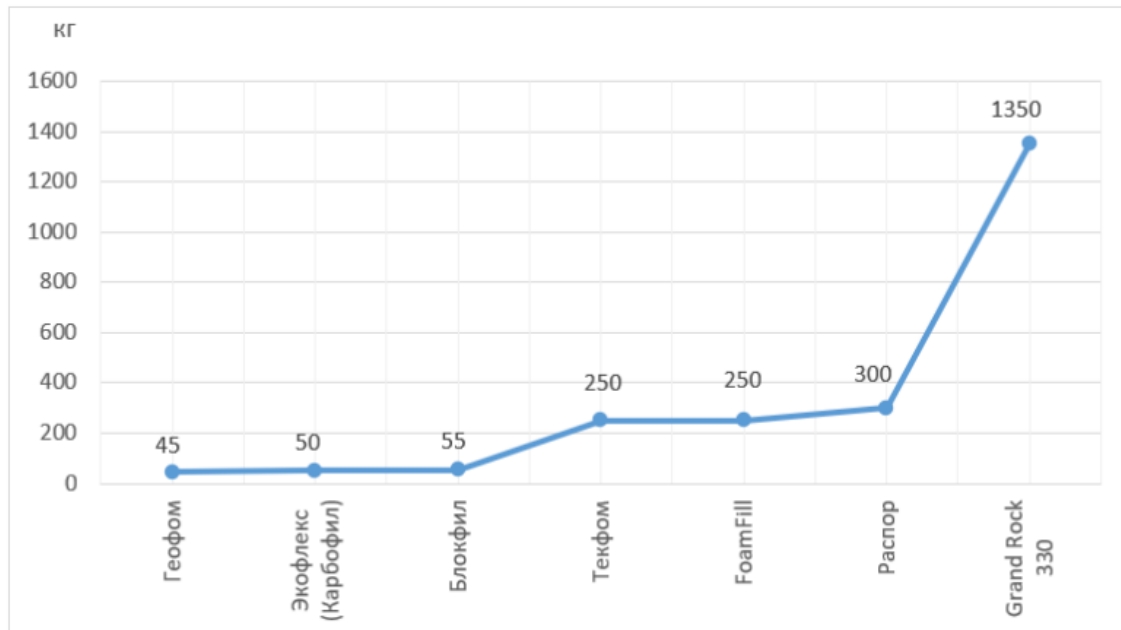


Рисунок 10 – Расход материала (кг) для приготовления 1 м³ вспенивающего раствора
Figure 10 – Material consumption (kg) for preparing 1 m³ of foaming mortar

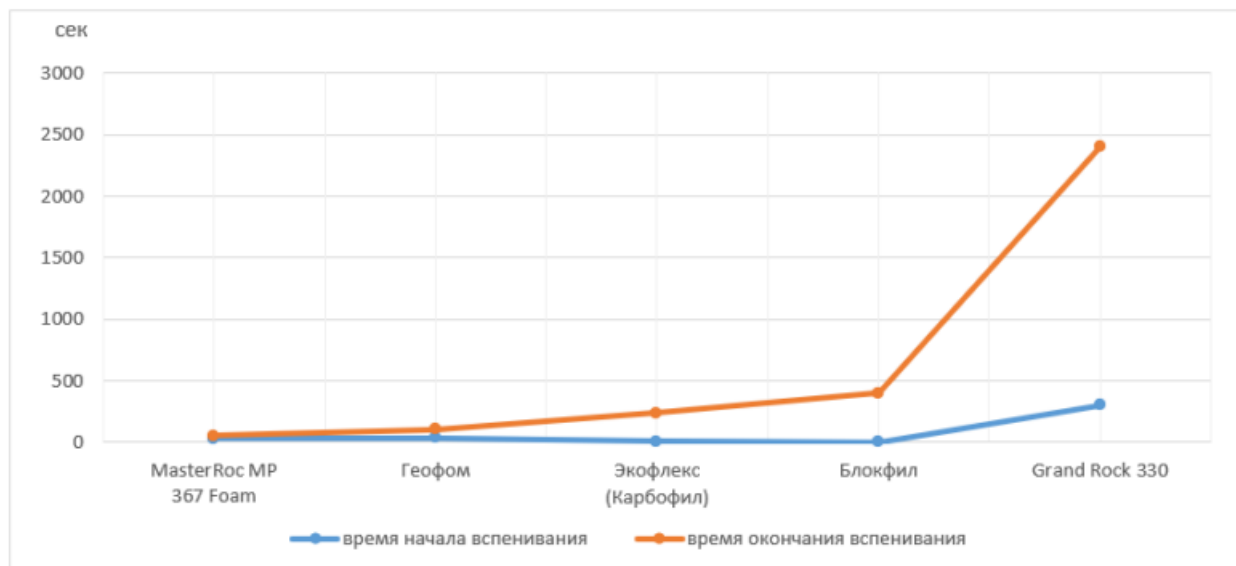


Рисунок 11 – Время реакции вспенивания (схватывания) (сек) двухкомпонентных смол
Figure 11 – Foaming (setting) reaction time (sec) of two-component resins

Тип и состав материала подбираются в зависимости от физико-механических свойств горных пород, объёма образовавшегося купола (пустоты), наличия иных нарушений в месте образовавшейся полости, экономической составляющей процесса заполнения пустот и прочих факторов.



Таким образом, на основе проведенного анализа, рассмотренные материалы рекомендуются к применению в следующих условиях:

– силикатная смола «Геофом», фенольные смолы «Экофлекс (Карбофил)» и «Блокфил», пена «MasterRoc MP 367 Foam» и высокорективная двухкомпонентная смола «Grand Rock 330» для ликвидации пустот и куполов малых объемов, вызванных незначительными геологическими нарушениями, без сопутствующих разрушительных сил, ввиду их сравнительно малых прочностных характеристик. Небольшое время вспенивания смол 1,5–7,0 минут способствует высокой скорости заполнения пустот. При этом, предпочтительнее закладка смол «Grand Rock 330», «Экофлекс (Карбофил)» и «Блокфил», которые не требуют возведения герметичной опалубки благодаря высокой скорости реакции вспенивания при смешивании компонентов. Благоприятная температура среды для закладки смол составляет 15–25 °С. Для закладки двухкомпонентных смол потребуются насосы типа SK90 1:1 («Grand Rock 330», «Геофом» и «MasterRoc MP 367 Foam») и SK90 4:1 («Экофлекс (Карбофил)» и «Блокфил»);

– сухие смеси «Текфом», «FoamFill», «Распор» для ликвидации пустот и куполов, вызванных геологическими нарушениями. Легкая вспененная масса из данных смесей готовится на месте применения путём смешивания порошка с водой. Расход сухих смесей на заполнение 1 м³ составит 250–300 кг, при этом конечная прочность на сжатие будет находиться в пределах 1–3 МПа. Плотность готовых растворных смесей до 700 кг/м³, а время потери текучести составляет от 2 до 5 минут (данные смеси «FoamFill» отсутствуют), что определяет технологию нагнетания составов с необходимостью возведения герметичной опалубки. Для подачи цементных растворов применяются насосные агрегаты типа ПБН-15 КПС, MONO WT 820, позволяющие заполнить пустоты с производительностью до 15 м³/час.

Таблица 4 – Характеристика продуктов и особенности их применения

Table 4 – Product characteristics and features of their application

Продукт	Время реакции/ схватывания, с	Расход материалов на образование 1 м ³ заполнителя, кг	Предел прочности на сжатие через 28 суток, МПа	Преимущества состава
«Геофом»	35...105	45...60	0,35...0,4	-
«Экофлекс (Карбофил)»	10...240	40...50	0,1	не требует возведения герметичной опалубки
«MasterRoc MP 367 Foam»	30...55	-		не увеличивается в объёме при контакте с водой
«Блокфил»	0...400	45...55	0,04...0,1	не требует возведения герметичной опалубки
«Текфом»	120...300	150...250	0,3...1	-
«FoamFill»	-	150...250	0,3...1	-
«Распор»	120...300	не более 300	3	-
«Grand Rock 330»	300...2400	1350	30	не требует возведения герметичной опалубки

Технологические процессы при выполнении работ по закачке растворов со схожими составами идентичны. Ключевым фактором также является экономическая составляющая рассмотренных вариантов.

Реализация технологических решений с применением рассматриваемых материалов

Следующие предлагаемые мероприятия по заполнению пустот и куполов относятся к одной из форм упрочнения приконтурного массива горных выработок. В пределах нарушений ведение горных работ требует выполнения дополнительных мер безопасности.



Работы по заполнению пустот и куполов выполняются в соответствии с технологическими регламентами на «Ведение горных работ в сложных горно-геологических условиях нефтешахт» и инструкций по применению смеси. В первую очередь, на месте выявленного геологического нарушения обираются отслоившиеся куски породы, устанавливается предохранительная крепь из элементов постоянной крепи и производится затяжка кровли от боков выработки до обрушенных пород. Проводятся работы по разборке завала горной выработки от обрушенных пород, разрушенных элементов крепи. В зависимости от типа нарушения и прочих факторов, для предупреждения дальнейших вывалов плотность установки рам металлической крепи увеличивают в два раза. При разборке завалов и восстановлении горных выработок обеспечивается проветривание мест ведения работ и постоянный контроль параметров рудничной атмосферы.

После выполнения работ по приведению выработки в безопасное и рабочее состояние, на место проявленного нарушения доставляются материалы и технологическое оборудование для ликвидации полостей, подводятся необходимые источники требуемой энергии. Через технические отверстия в межрамной затяжке производится тампонирующее растворение в образовавшуюся полость.

Основным преимуществом применения смол «Экофлекс (Карбофил)» и «Блокфил» является высокая скорость реакции вспенивания, которая позволяет вести работы по нагнетанию без возведения герметичной опалубки. При этом, функции опалубки может выполнять межрамная затяжка (без щелей между стыками).

Технология процессов по закачке данных смол содержит однотипные работы. Оба компонента смолы подаются для смешивания при помощи специального двухкомпонентного насоса по высоконапорным шлангам к статическому смесителю, перемешиваются и нагнетаются по подающим трубкам за опалубку (затяжку). Смешанные компоненты смолы вспениваются и заполняют имеющиеся пустоты и полости, обеспечивая их герметизацию.

При работе с составами, обладающими сравнительно низкой скоростью вспенивания/схватывания, для предотвращения чрезмерных утечек растворов, их укладку следует выполнять с возведением герметичной опалубки.

Гибкая опалубка устанавливается непосредственно под куполом (вывалом) на восстановленную затяжку, общей площадью не менее габаритных размеров вывала. Для герметичности опалубки, она уплотняется изнутри вентиляционным брезентом или прочими пленками. При этом необходимым условием является отсутствие щелей в опалубке, поэтому при обшивке материал для уплотнения прибивается рейками.

Компания ООО «ПАРАД-РУСЬ» предлагает выполнение тампонажа поэтапно с применением различных материалов и рецептур. Для начала применяется микроцемент «ULTRACEM» с удельной поверхностью 10000-12000 г/см². Данный материал имеет меньшую стоимость и хорошо себя зарекомендовал для закачки в обводненные породы, в том числе рассолами. Для ускорения работ и оптимизации расхода материалов закачка останавливается: либо по расчетному объему, либо по достижению гидростатического давления. После завершения работ по всему интервалу, локальные места остаточных водопроявлений «отпотеваний» разбуриваются и производится закачка дополнительно ультратонкого микроцемента «ULTRACEM» с удельной поверхностью 18000–22000 г/см². Результат работ должен проявляться сразу после закачки по результатам визуальных наблюдений отсутствия притоков через крепь и отсутствия каверн в шпурах после вскрытия пробок.

Заключение

Основными причинами прорывов пара является наличие сети старых подземных добывающих скважин, пробуренных из буровых камер и «подсекание» изолированными горными выработками разогретой кровли 3-го пласта (горные выработки «туффитового» горизонта) и переход на разработку месторождения подземноповерхностным способом, при котором давление закачки пара в пласт значительно превышает начальное пластовое, что, в свою очередь, способствует «раскрыванию» существующих и созданию новых трещин, как результат, возникновение прорывов пара в изолированные горные выработки и его утечки за счет общешахтной депрессии через вентиляционные переемы в действующие горные выработки.,



дополнительным источником прорывов пара является развитая в пласте сеть тектонических нарушений.

Для проведения упрочнения пород и ликвидации трещин в приконтурном массиве рекомендуется использование пены «Geofoam» за счёт хорошего вспенивания и приемлимых прочностных свойств.

Для проведения работ по упрочнению за приконтурным массивом горных выработок в качестве заполняющих составов рекомендуется применение цементных смесей и двухкомпонентных смол. Рекомендуемый вариант ООО «ПАРАД-РУСЬ» по причине высокой прочности и проникающей способности. Также отметим, что компания оказывает непосредственные услуги по тампонажу и может изменить химический состав в процессе работ.

Для заполнения пустот и куполов, проявившихся в горных выработках со сложными горно-геологическими условиями (присутствие значительной трещиноватости, обводненности, резкого повышения горного давления, пустот в кровле и боках, сыпучих пород) рекомендуется применение смесей для тампонирования марок «Текбар», и «Барьер», ввиду их более высокой несущей способности и прочности на сжатие.

Для ликвидации пустот и куполов малых объемов, вызванные незначительными геологическими нарушениями, без сопутствующих разрушительных сил возможно рациональное применение смесей, обладающих меньшими прочностными характеристиками – смолы «Экофлекс (Карбофил)» и «Блокфил», которые также не требуют возведения герметичной опалубки благодаря высокой скорости реакции вспенивания при смешивании компонентов.

При значительном геологическом нарушении рекомендуется использование смолы «Grand Rock 330», которая повысит прочность приконтурного массива и снизит требования к крепи.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

© 2025 Авторы. Издательство Кузбасского государственного технического университета имени Т.Ф. Горбачева. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Информация об авторах

Фомин Анатолий Иосифович, д.т.н., профессор кафедры аэрологии, охраны труда и природы Кузбасский государственный технический университет
e-mail: fominai@kuzstu.ru
Россия, 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28

Грунсков Тарас Валерьевич, доцент кафедры ПБиООС, к.т.н.
e-mail: uxtacity@yandex.ru

Белкин Илья Алексеевич, аспирант
e-mail: uxtacity@yandex.ru
Ухтинский государственный технический университет
Россия, 169300, Республика Коми, г. Ухта, ул. Первомайская д. 13

Трубицын Анатолий Александрович, д.т.н., научный сотрудник института промышленной и экологической безопасности
e-mail: trubitsynaa@kuzstu.ru

Трубицына Нэля Вадимовна, д.т.н., научный сотрудник института промышленной и экологической безопасности
e-mail: trubitsynanv@kuzstu.ru

Копытов Александр Иванович, д.т.н., профессор кафедры разработки месторождений полезных ископаемых
e-mail: kopytovai@kuzstu.ru



Михайлов Владимир Геннадьевич, к.т.н., заведующий кафедры аэрологии, охраны труда и природы
e-mail: mvlg.eohp@kuzstu.ru

Тациенко Виктор Прокопьевич, д.т.н., директор института промышленной и экологической безопасности
e-mail: tatsienkovp@kuzstu.ru

Дырдин Влери́й Васи́льевич, д.т.н., профессор кафедры физики
e-mail: dyrdinvv@kuzstu.ru
Россия, 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28

Список литературы

1. Фомин, А.И. Поиск эффективных решений разработки месторождений высоковязкой нефти и битумов / А.И. Фомин, Т.В. Грунско́й // Безопасность труда в промышленности. – 2020. – №7. – С. 20-25. DOI: 10.24000/0409-2961-2020-7-20-25
2. Фомин, А.И. Изучение причин формирования нагревающего микроклимата в уклонных блоках Ярегских нефтешахт / А.И. Фомин, Т.В. Грунско́й // Вестник Научного центра по безопасности в угольной промышленности. – 2022. – №3. – С. 12-17.
3. Груцкий, Л.Г. Обоснование способов повышения устойчивости выработок нефтешахт. Дис. ... канд. техн. наук. – Санкт-Петербург: СПбГИ им. Г.В. Плеханова. – 2000. – 131 с.
4. Халикова, Э.Р. Создание эффективной технологии проведения выработок на базе аналитического моделирования геомеханических процессов. Дис. ... докт. техн. наук. – Караганда. – 2020. – 121 с.
5. Иванчин Е.А., Федюков А.А., Борисов Т.А. Оценка устойчивости горных выработок. Известия вузов. Горный журнал. 2014; (5): 18–22. <https://elibrary.ru/item.asp?edn=skizux>
6. Демин В.Ф., Демина Т.В. Технология повышения устойчивости геомеханической системы «анкерная крепь-слоистый массив пород. Караганда: «Арко»; 2015. 204 с.
7. Луганцев Б.Б. Обеспечение устойчивости подземных горных выработок в трещиноватом породном массиве. Дис. доктора техн. наук. Москва; 2003. 287 с.
8. Фомин А.И., Грунско́й Т.В. Исследование составов для изоляции горных выработок нефтешахт от прорывов пара в полевые штреки. Труды Всероссийской научно-практической конференции «Современные проблемы развития Европейского Севера. 2024». 92–95. URL: https://www.ugtu.net/sites/default/files/Pages/sbornik_spr_es_2024.pdf (дата обращения: 16.04.2025).
9. Алтунина Л. К., Кувшинов В. А., Кувшинов И. В., Стасьева Л. А., Козлов В. В., Чертенков М. В., Шкрабюк Л. С. Технология «гель в геле. Увеличение нефтеотдачи тяжелых высоковязких нефтей. Oil&Gas Russia. 2017. 7 (1117):28–34.
10. Кривчун С.А., Кривчун Е.А., Баженов М.И. и др. Структура и свойства грунтобетонных массивов на основе наномодифицированных микроцементов. Жилищное строительство. 2016; (9):55–58.
11. Панкратов М.С., Бородин И.А. Применение набрызг-бетона при строительстве подземных объектов глубокого заложения в Москве. Метро и тоннели. 2014;(5):10-12. Available at: <https://rus-tar.ru/wp-content/uploads/2014/09/MT-5-2014.pdf>
12. Меркин В.Е. О комбинированных обделках транспортных тоннелей из набрызг-бетона с напыляемой гидроизоляции (по материалам семинара в Норвегии). Метро и тоннели. 2011; (3):16-17. <https://rus-tar.ru/wp-content/uploads/2011/03/MT-3-2011.pdf>
13. Дятлов А.К., Харченко А.И., Баженов М.И., Харченко И.Я. Композиционное вяжущее для мелкозернистых самоуплотняющихся бетонов. Технологии бетонов. 2013; 3(80):40–43.
14. Пшеничный Г.Н., Галкин Ю.Ю. О механизме действия высокодисперсных минеральных добавок. Технологии бетонов. 2014; 11(100):41–45.
15. Technology of Controlling Geomechanical Processes for Increasing Stability of Coal-Rock Massif Around Workings / V. F. Dyomin, R. A. Mussin, A. Ye. Zhumabekova, E. R. Khalikova // Труды университета. – 2018. – No. 3(72). – P. 64-67. – EDN YLXYOL.



16. Demin V.F., Mussin R.A., Iconopisceva E.O., Khalikova E.R., Burak Yu.S. Organization for stage-by-stage anchoring of mine working. Алматы: «Комплексное использование минерального сырья», 2019.- № 1. - С. 20-28.
17. Оценка напряженно-деформированного состояния массива горных пород вокруг выработки, закрепленной анкерной крепью / В. Ф. Демин, Т. В. Демина, Ю. Ю. Стефлюк [и др.] // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2015. – № 8. – С. 70-76. – EDN UIWSMT.

UDC 622.257(470.13)

STUDY OF ROCK FRACTURING OF THE YAREGSKOYE DEPOSIT TO NORMALIZE THE MICROCLIMATE WITH THE AIM OF DEVELOPING COMPOSITIONS FOR STEAM OUTLETS INSULATING

Anatoly I. Fomin¹, Taras V. Grunskoy², Ilya A. Belkin²,
Anatoly A. Trubitsyn¹, Nelya V. Trubitsyna¹, Alexander I. Kopytov¹,
Vladimir G. Mikhailov¹, Victor P. Tatsienko¹, Valery V. Dyrdin¹

¹ T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University

² Ukhta State Technical University



Article info

Received:
21 October 2024

Revised:
12 February 2025

Accepted:
10 March 2025

Keywords: thermal mining system, Yaregskoye oil and titan field, rocks' jointing, oil mine, heating microclimate, steam breakthroughs

Abstract.

One of the complicating factors in the development of the Yaregskoye field using the thermal mining method is the regular breakthrough of the heat carrier into the mine workings. Despite the fact that in the thermal mining system, steam is injected into the seam at a distance from the active mine workings, this leads to uncontrolled breakthroughs. The main problem with the operation of oil mines is the low rate of heat carrier injection due to steam breakthroughs into the tuffite level workings, which limits steam pumping into the steam-injection wells. The main disadvantage of the thermal mining system is the increase in the temperature of the mine atmosphere and rock mass, heating the seam at a distance of up to 350 m from the mouth of the underground steam-injection wells. The increase in the temperature of the mine atmosphere due to steam breakthroughs leads to a reduction in the time that personnel can spend in the mine workings and disrupts the operation of the wells. To continue operating the areas where the heat carrier has broken through, steam injection is limited, which in turn leads to a decrease in oil production rates. One of the main approaches to solving the problems of heat carrier injection and preventing steam from escaping into field tunnels is the development of compositions for insulating steam breakthrough points in existing oil mine workings, which will reduce the air temperature in the workplace. Reducing the negative impact of steam breakthroughs into mine workings is a pressing and important task in thermal mining. This article presents the results of studies of the fracturing of rocks at the Yaregskoye field, tests to determine the compressive strength, reaction/setting time, and material consumption for the formation of 1 m³ of mixture composition for the elimination of steam outlets in field drifts. The effectiveness of using insulating compounds in the fractured rocks of the Yaregskoye field has been proven, which is explained by the increased resistance of mine workings to heat carrier breakthroughs, since the bonding solution will penetrate the cracks



in the rock mass to a depth of 0.5-0.8 m and withstand the effects of overheated steam.

For citation Fomin A.I., Grunskoy T.V., Belkin I.A., Trubitsyn A.A., Trubitsyna N.V., Kopytov A.I., Mikhailov V.G., Tatsienko V.P., Dyrdin V.V. Study of rock fracturing of the Yaregskoye deposit to normalize the microclimate with the aim of developing compositions for isolating steam outlets. *Journal of mining and geotechnical engineering*. 2025;2(29):4-25. DOI: 10.26730/2618-7434-2025-2-4-25, EDN: VWHTPB

References

1. Fomin A.I., Grunskoy T.V. Search for effective solutions for the development of high-viscosity oil and bitumen deposits. *Occupational Safety in Industry*. 2020;(7):20-25. DOI: 10.24000/0409-2961-2020-7-20-25 [In Russ.].
2. Fomin A.I., Grunskoy T.V. Study of the causes of the formation of a heating microclimate in the inclined blocks of the Yarezh oil mines. *Bulletin of the Scientific Center for Safety in the Coal Industry*. 2022;(3):12-17. [In Russ.].
3. Grutsky L.G. Justification of methods for increasing the stability of oil mine workings. *PhD dissertation (Eng.)*. Saint Petersburg: Plekhanov Russian University of Economics. – 2000. – 131 p. [In Russ.].
4. Khalikova E.R. Creation of an effective technology for mining based on analytical modeling of geomechanical processes. Dr. Sc. dissertation (Eng.). – Karaganda, Kazakhstan. – 2020. – 121 p. [In Russ.].
5. Ivanchin E.A., Fedyukov A.A., Borisov T.A. Assessment of the stability of mine workings. *Minerals and Mining Engineering*. 2014;(5):18-22. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?edn=SKIZUX> [In Russ.].
6. Demin V.F., Demina T.V. Technology for improving the stability of the geotechnical engineering system “anchor support-layered rock mass”. – Karaganda, Kazakhstan. Arko Publishing House. – 2015. – 204 p. [In Russ.].
7. Lugantsev B.B. Ensuring the stability of underground mine workings in fractured rock mass. Dr. Sc. dissertation (Eng.). – Moscow. – 2003. – 287 p. [In Russ.].
8. Fomin A.I., Grunskoy T.V. Research into compositions for insulating oil mine workings from steam breakthroughs into field tunnels. *Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference “Contemporary Problems of the Development of the European North. 2024.”*. Pp. 92–95. URL: https://www.ugtu.net/sites/default/files/Pages/sbornik_spr_es_2024.pdf (accessed: 16.04.2025). [In Russ.].
9. Altunina L.K., Kuvshinov V.A., Kuvshinov I.V., Stasyeva L.A., Kozlov V.V., Chertunkov M.V., Shkrabuk L.S. Gel-in-gel technology. Increasing oil recovery from heavy high-viscosity oils. *Oil&Gas Russia*. 2017;7(1117):28-34. [In Russ.].
10. Krivchun S.A., Krivchun E.A., Bazhenov M.I. et al. Structure and properties of soil-concrete masses based on nanomodified microcements. *Housing Construction*. 2016;(9):55-58. [In Russ.].
11. Pankratov M.S., Borodin I.A. Application of shotcrete in the construction of deep underground structures in Moscow. *Metro and Tunnels*. 2014;(5):10-12. Available at <https://rus-tar.ru/wp-content/uploads/2014/05/MT-5-2014.pdf> [In Russ.].
12. Merkin V.E. On combined linings of transport tunnels made of shotcrete with sprayed waterproofing (based on materials from a seminar in Norway). *Metro and Tunnels*. 2011;(3):16-17. Available at <https://rus-tar.ru/wp-content/uploads/2011/03/MT-3-2011.pdf> [In Russ.].
13. Dyatlov A.K., Kharchenko A.I., Bazhenov M.I., Kharchenko I.Ya. Composite binder for fine-grained self-compacting concrete. *Concrete Technologies*. 2013;3(80):40-43. [In Russ.].
14. Pshenichny G.N., Galkin Yu.Yu. On the mechanism of action of highly dispersed mineral additives. *Concrete Technologies*. 2014;11(100):41-45. [In Russ.].
15. Dyomin V.F., Mussin R.A., Zhumabekova A.Ye., Khalikova E.R. Technology of Controlling Geomechanical Processes for Increasing Stability of Coal-Rock Massif Around Workings. *University Proceedings*. – 2018;3(72):64-67. EDN YLXYOL. [In Russ.].
16. Demin V.F., Mussin R.A., Iconopisceva E.O., Khalikova E.R., Burak Yu.S. Organization for stage-by-stage anchoring of mine working. *Comprehensive use of mineral resources*. 2019;(1):20-28. [In Russ.].
17. V.F. Demin, T.V. Demina, Yu.Yu. Steflyuk [et al.] Assessment of the stress-strain state of the rock mass around the working secured by anchor support. *Mining Information and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*. 2015;(8):70-76. – EDN UIWSMT. [In Russ.].

Conflicts of Interest



The authors declare no conflict of interest.

© 2025 The Authors. Published by T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Information about the authors

Anatoly I. Fomin, Dr.Sc. (Eng.), Professor of the Department of Aerology, Labor Protection and Nature Protection
e-mail: fominai@kuzstu.ru

Kuzbass State Technical University
650000, 28 Vesennyaya St., Kemerovo, Russian Federation

Taras V. Grunskoy, PhD. (Eng.), Associate Professor, Department of Industrial Safety and Environmental Protection
e-mail: uxtacity@yandex.ru

Ilya A. Belkin, postgraduate student
e-mail: uxtacity@yandex.ru

Ukhta State Technical University
169300, 13 Pervomayskaya St., Ukhta, Republic of Komi, Russian Federation.

Anatoly A. Trubitsyn, Dr.Sc. (Eng.), Professor of the Institute of Industrial and Ecological Safety
e-mail: fominai@kuzstu.ru

Nelya V. Trubitsyna, Dr.Sc. (Eng.), Professor of the Institute of Industrial and Ecological Safety
e-mail: fominai@kuzstu.ru

Alexander I. Kopytov, Dr.Sc. (Eng.), Professor of the Department of Underground Mining
e-mail: kopytovai@kuzstu.ru

Vladimir G. Mikhailov, PhD. (Econ.), Chief of the Department of Aerology, Labor Protection and Nature Protection
e-mail: mvg.eohp@kuzstu.ru

Victor P. Tatsienko, Dr.Sc. (Eng.), Director of the Institute of Industrial and Ecological Safety
e-mail: tatsienkovp@kuzstu.ru

Valery V. Dyrdin, Dr.Sc. (Eng.), Professor of the Department of Physics
e-mail: dyrdinvv@kuzstu.ru

Kuzbass State Technical University
650000, 28 Vesennyaya St., Kemerovo, Russian Federation

