

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Сибирский государственный индустриальный университет»
ВК «Кузбасская ярмарка»

НАУКОЕМКИЕ ТЕХНОЛОГИИ
РАЗРАБОТКИ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
МИНЕРАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

№ 9 - 2023

Главный редактор
д.т.н., проф. Фрянов В.Н.

Редакционная коллегия:
чл.-корр. РАН, д.т.н., проф. Клишин В.И., д.т.н., проф. Никитенко С.М.,
д.т.н. Павлова Л.Д. (технический редактор), д.т.н., проф. Домрачев А.Н.,
д.э.н., проф. Петрова Т.В.

Н 340 Наукоемкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов : науч. журнал / Сиб. гос. индустр. ун-т; под общей ред. В.Н. Фрянова. – Новокузнецк, 2023. - № 9. – 390 с.

Рассмотрены аспекты развития инновационных наукоемких технологий диверсификации угольного производства и обобщены результаты научных исследований, в том числе создание роботизированных и автоматизированных угледобывающих и углеперерабатывающих предприятий, базирующиеся на использовании прорывных технологий добычи угля и метана, комплексной переработке этих продуктов в угледобывающих регионах и реализации энергетической продукции потребителям в виде тепловой и электрической энергии.

Журнал предназначен для научных и научно-технических работников, специалистов угольной промышленности, преподавателей, аспирантов и студентов вузов.

Номер подготовлен на основе материалов Международной научно-практической конференции «Наукоемкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов», проводимой в рамках специализированной выставки технологий горных разработок «Уголь России и Майнинг» (Новокузнецк, 6-9 июня 2023 г.).

Основан в 2015 г.
Выходит 1 раз в год

Учредитель - Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Сибирский государственный индустриальный университет»

УДК 622.2
ББК 33.1

Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН, г. Кемерово, Россия	145
ПРИМЕНЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ОБОРУДОВАНИЯ ИЗ КОНСТРУКЦИОННОЙ И ТЕПЛОУСТОЙЧИВОЙ СТАЛИ	150
^{1, 2} Абабков Н.В., ² Смирнов А.Н., ^{1, 2} Пимонов М.В.	150
1 – Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН, г. Кемерово, Россия.....	150
2 – ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева», г. Кемерово, Россия	150
ПРОЕКТИРОВАНИЕ РАБОЧИХ КОЛЕС ОСЕВЫХ ВЕНТИЛЯТОРОВ НА ОСНОВЕ ОПТИМИЗАЦИИ ИНЕРЦИОННО-МАССОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК	159
к.т.н. Панова Н.В.	159
Институт горного дела им. Н.А. Чинакала СО РАН, г. Новосибирск, Россия	159
РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ КРИВИЗНЫ УПРУГОГО РАБОЧЕГО ОРГАНА ВИБРОПИТАТЕЛЯ НА ПАРАМЕТРЫ ЕГО КОЛЕБАНИЙ	162
^{1, 2} к.т.н. Куликова Е.Г.	162
1 – Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск, Россия	162
2 – Институт горного дела им. Н.А. Чинакала СО РАН, г. Новосибирск, Россия	162
ВОССТАНОВЛЕНИЕ И РЕИНЖИНИРИНГ ДЕТАЛЕЙ И УЗЛОВ УГЛЕДОБЫВАЮЩИХ КОМПЛЕКСОВ	169
д.т.н. Чинахов Д.А., к.т.н. Чернухин Р.В., Алимов А.А., Филиппов В.В.	169
Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск, Россия.....	169
ИССЛЕДОВАНИЕ ТРАЕКТОРИИ ДВИЖЕНИЯ РЕЖУЩЕГО ОРГАНА ЩЕЛЕОБРАЗОВАТЕЛЯ	173
Новик А.В.	173
ООО «Автостройкомплект», г. Новосибирск, Россия.....	173
АППАРАТ ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ РЕЗКИ ПОРОД И РАСШИРЕНИЯ СКВАЖИН В ГОРНОМ МАССИВЕ	176
Альвинский Я.А., Григорьев А.А., Мананников С.Д., Никитина А.М.	176
Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия.....	176
ПРИМЕНЕНИЕ ИННОВАЦИОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ И ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ШАХТНОГО НАПРАВЛЕННОГО БУРЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СКВАЖИН.....	181
¹ к.т.н. Волошин В.А., ¹ к.т.н. Риб С.В., ² Рахимкулов И.Р., ² Гончаров Р.С., ² Черняк М.Г., ³ Галимов Р.Н.	181
1 – Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия.....	181
2 – ООО «ДМТехнологии», г. Новокузнецк, Россия.....	181
3 – ПАО «Распадская», г. Междуреченск, Россия	181
ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ В ГОРНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ	189
¹ Дадынский Р.А., ² к.т.н. Никитина А.М., ² к.т.н. Риб С.В.	189
1 – ООО «УМГШО», г. Новокузнецк, Россия.....	189
2 – Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия.....	189
ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ ДРОБИЛЬНОЙ МАШИНЫ, РАБОТАЮЩЕЙ НА СДВИГ	192
д.т.н. Никитин А.Г., Демина Е.И., Курочкин Н.М.	192
Сибирский государственный индустриальный университет, Новокузнецк, Россия	192
РОБОТИЗАЦИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ГОРНОГО ПРОИЗВОДСТВА	197
УПРАВЛЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТЬЮ СЛОИСТЫХ ПОРОД КРОВЛИ В ОКРЕСТНОСТИ ПОДЗЕМНОЙ ВЫРАБОТКИ	199

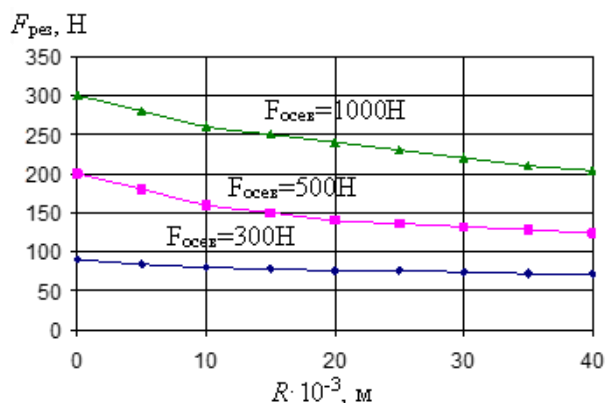


Рис. 4. Зависимость усилия резания при различных значениях осевой нагрузки

Вывод. Как видно из зависимостей, представленных на рис. 4, новая траектория движения режущих органов ЦМ – 45М и их конструкция обеспечивают благоприятный режим работы инструмента, так как с увеличением глубины иницирующей щели (или выхода резца R) нагрузки на режущий орган $F_{\text{рез}}$ уменьшаются. При данной конструкции щелеобразователя обеспечивается более интенсивная подача промывочной жидкости в рабочую зону, что также повышает долговечность режущих органов, а увеличенный радиус ИЩ повышает вероятность развития искусственной трещины в заданной плоскости.

Список литературы

1. Клишин В.И. Адаптация механизированных крепей к условиям динамического нагружения. – Новосибирск: Наука, 2002. – 199 с.
2. Чернов О.И., Леконцев Ю.М., Кодола В.В. Применение флюидоразрыва для разупрочнения подкровельной толщи при отработке мощных пологих пластов // Уголь. – 2000. – № 9. – С. 17 – 19.
3. Кю Н.Г., Шепелев Л.Н. Устройства для прорезания в скважинах иницирующих щелей // Управление горным давлением в комплексно – механизированных забоях. Вопросы горного давления: сб. трудов. – Новосибирск. – 1989. – Вып. № 47. – С. 44 – 53.
4. Авторское свидетельство СССР №1458569. Устройство для образования щелей на стенках скважин. / О.И. Гребенник, О.И. Чернов, В.Г. Зарубин, Л.В. Зворыгин, Р.С. Прасолова, Н.П. Патрушев, С.Ф. Аверьянов ; опубл. 1989, Бюл. № 6.
5. Пат. №2263776 РФ. Щелеобразователь / В.И. Клишин, Ю.М. Леконцев, П.В. Сажин ; опубл. 2005, Бюл. № 31.

УДК 622.817.3:234.573

АППАРАТ ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ РЕЗКИ ПОРОД И РАСШИРЕНИЯ СКВАЖИН В ГОРНОМ МАССИВЕ

Альвинский Я.А., Григорьев А.А., Мананников С.Д., Никитина А.М.

Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия

Аннотация. Представлено техническое решение расширения дегазационных скважин с использованием аппарата гидравлической резки горных пород и формирования дискообразных полостей. Предложен алгоритм расчёта параметров гидравлической струи и производительности гидроструйного аппарата. Реализация технического решения обеспечивает расширение скважин и увеличения коэффициента дегазации газоносных угольных пластов при подземной разработке месторождений полезных ископаемых.

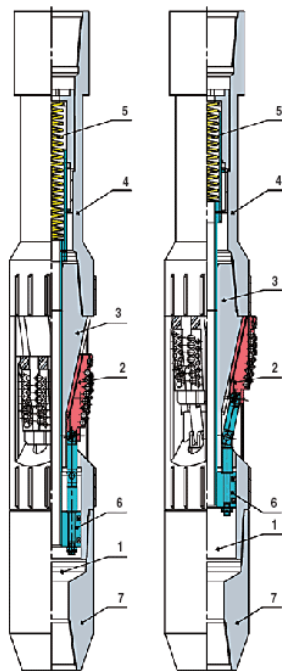
Ключевые слова: дегазационная скважина, скважинные расширители, гидроструйный аппарат, дискообразные полости, метан, угольный пласт, алгоритм.

Повышение эффективности работы угольных шахт в современных условиях связано с ростом нагрузок на очистной забой, которые могут ограничиваться в связи с увеличением притоков метана из угольных пластов [1,8-10]. По мере углубления горных работ ситуация осложняется вследствие повышения газоносности угольных пластов. Обеспечение безопасности горных работ является важнейшим условием эффективной отработки угольных месторождений на сегодняшний день, поэтому разработка новых или усовершенствование существующих технологий дегазации пластов с помощью внедрения новых способов и технических средств для этих целей является весьма актуальным.

Основными требованиями к новым способам дегазации являются их стоимость и эффективность. Классические методы дегазации бурением сетки скважин не дают необходимого эффекта из-за малой плотности дегазационных скважин в выемочном столбе и низкой интенсификации метаноотдачи угольного пласта по скважинам малого диаметра.

Для повышения коэффициента дегазации необходимо увеличить площадь обнажения или разрыхления угольного пласта. Это достигается посредством увеличения количества скважин, площади их поперечного сечения или гидроразрывом пласта. Согласно результатам опытной дегазации при уплотнении сетки скважин эффект дегазации существенно не возрастает. Гидроразрыв пласта теоретически намного эффективнее, но на практике он является трудно управляемым процессом и в некоторых случаях его эффективность значительно снижается и практически равна дегазации обычными скважинами [4-8].

Как показывает практика применения скважинных расширителей на нефтяном и газовом промысле, способ является довольно действенным, но имеет ряд недостатков, таких как ограниченность размеров расширения, долговечность агрегата и возможность его применить на угольных месторождениях. Применяемые на промысле расширители создают в горных породах полости большого объема со сравнительно небольшими площадями обнажения из-за конструктивных особенностей агрегата, представленных на рис. 1 [2].



1 – гидрокамера; 2 – плашка с резцами PDC; 3 – корпус; 4 – верхний переводник;
5 – пружина; 6 – поршень; 7 – нижний переводник

Рис. 1. Расширитель раздвижной РРМ 216/240: а – в транспортном положении;
б – в рабочем положении [2]

Представленный агрегат создает небольшие расширения скважин, очень малой площади обнажения, применение которых для дегазации угольных пластов не принесет эффекта. Для создания полостей большего объема применяют расширители схожей конструкции, представленные на рис. 2 [3].



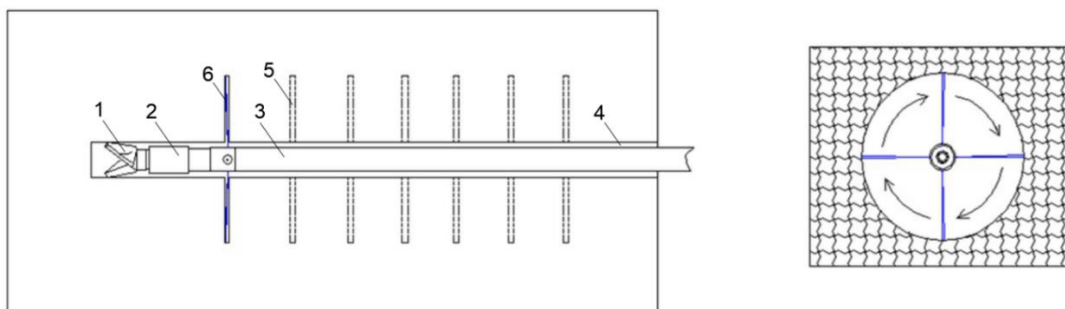
Рис. 2. Расширитель скважин для мягких и средних пород [3]

Данный агрегат применяется на мягких породах создавая цилиндрические или полусферические расширения диаметром до 600 мм. применение данного агрегата для расширения скважин в угольном пласте теоретически повысит коэффициент дегазации, но при расширении этим методом возникнет большое количество буровой мелочи, возможность извлечения которой затруднено через скважины малого диаметра.

Увеличение площади сечения скважин можно добиться увеличением диаметра бурового инструмента или применением скважинных расширителей. Однако при этом возникают проблемы обеспечения устойчивости мягких пород на стенках скважины.

В настоящей работе предлагается новый способ повышения эффективности дегазации посредством изменения структуры угольного массива в окрестности дегазационных скважин при увеличении площади их поперечного сечения на отдельных участках нарезкой дискообразных полостей.

Поставленная задача заключается в создании инструмента способного образовывать полости максимально возможной площади обнажения при минимальном ее объеме. Такими характеристиками обладает диск. Для нарезки дискообразных полостей предлагается создание гидравлического расширителя. Метод нарезки полостей таким инструментом заключается в возможности резания горных пород струями воды высокого давления с вращением агрегата в полости скважины (рис. 3).



1 – буровая коронка; 2 – аппарат гидравлической резки; 3 – буровая штанга; 4 – скважина;
5 – нарезаемая полость; 6 – струя воды

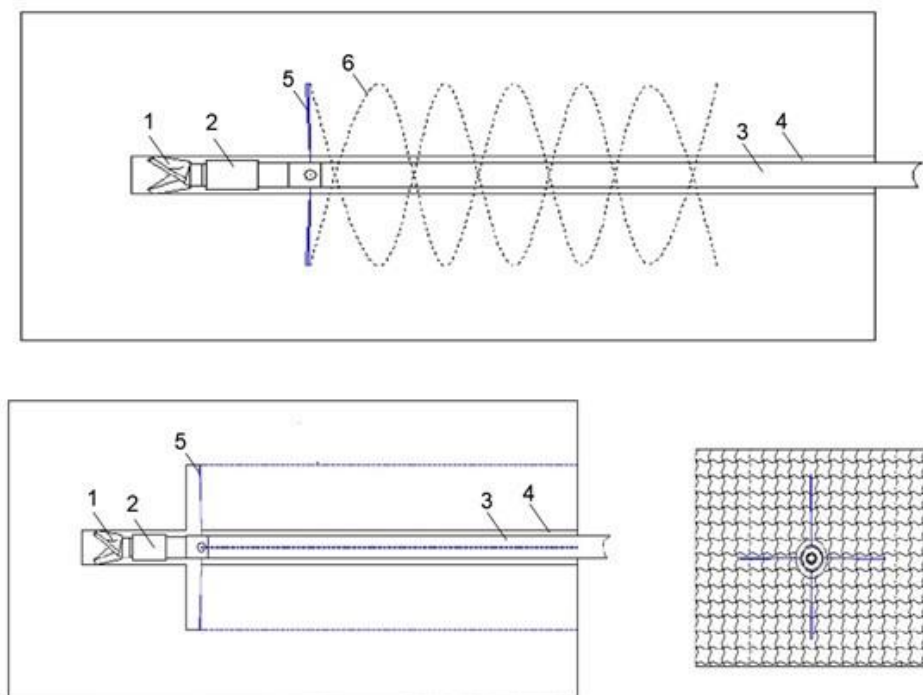
Рис. 3. Схема нарезки дискообразных полостей

Аппарат предусматривает резку массива обратным ходом, то есть после бурения скважины, когда рабочий орган извлекают из скважины, попутно осуществляют резку. Преимуществом данного способа является его универсальность, так как он не имеет ограничений по прочности и вязкости пород, а также по диаметру создаваемых полостей, так как эти показатели зависят только от подаваемого в аппарат давления рабочей жидкости.

Применение данного аппарата не ограничивается дисковым способом резки массива. Возможности инструмента позволяют производить крестовую (звездообразную, в

зависимости от количества форсунок) резку массива путем его извлечения - удаления от забоя скважины, без вращения бурового инструмента (рис. 4).

При совмещении вращательного и поступательного движения появляется возможность создания спиралевидных разрезов массива или же размыва полостей цилиндрической формы. Также планируется применение данного аппарата для расширения скважин и полостей различного назначения: при размыве грунтов, гидравлической добычи растворяемых в воде полезных ископаемых.



1 – буровая коронка; 2 – аппарат гидравлической резки; 3 – буровая штанга; 4 – скважина; 5 – струя воды; 6 – траектория движения жидкости

Рис. 4. Крестовая и спиральная схемы резки

Ниже приведен алгоритм расчета параметров резки массива с применением аппарата гидравлического расширения скважин.

Расход воды. Расход воды через форсунку гидроструйного аппарата Q_{ϕ} , м³/с, определяется по формуле [1]:

$$Q_{\phi} = \mu \frac{\pi d_{\phi}^2}{4} \sqrt{\frac{2P}{\rho}}, \quad (1)$$

где P – рабочее давление в Па, $P = 12$ МПа; ρ – плотность технической воды, кг/м³; d_{ϕ} – диаметр насадка, м, $d_{\phi} = 0,005$ м; μ – коэффициент расхода для коноидальных насадок = 0,97; для других = 0,95.

Аналогично проводятся расчеты расхода воды через промывочные каналы $Q_{п.к.}$, м³/с:

$$Q_{п.к.} = \mu \frac{\pi d_{п.к.}^2}{4} \sqrt{\frac{2P}{\rho}}. \quad (2)$$

Расход воды гидроструйного аппарата определяется по формуле:

$$Q = nQ_{\phi} + \sum Q_{п.к.}, \quad (3)$$

где n – количество форсунок.

Производительность гидроструйного аппарата по углю. Теоретическая производительность гидроструйного аппарата по углю, $\Pi_{теор}$, т/с определяется, как:

$$\Pi_{теор} = Q\Psi, \quad (4)$$

где Ψ – теоретическая консистенция, т.е. отношение массы твердого (отбитого) к массе израсходованной воды, взятых за один и тот же промежуток времени. В расчетах $T:Ж$ принимается равным не более $1/3=0,33$ для обеспечения гидротранспорта.

Эксплуатационная производительность, $P_э$, т/с (по углю).

$$P_э = P_{теор} K_H, \quad (5)$$

где K_H – коэффициент, учитывающий неравномерность подачи воды в гидроструйный аппарат ($K_H = 0,86 \div 0,7$).

Глубина струйного разрыхления массива. Глубина струйного разрыхления массива равна l_p – рабочей длине гидромониторной струи, м:

$$l_p = \frac{K_\phi d_H}{E} \sqrt{\frac{P}{P_K} - 1}, \quad (6)$$

где K_ϕ – коэффициент формы потока, зависит от проточной части ствола и составляет 0,70-1,5; d_H – диаметр насадки, м (0,005 м); E – коэффициент турбулентной структуры струи.

$$E = 10^{-3} \left(2,2 + 5,35 \cdot 10^{-6} \frac{Q}{\gamma D_{ств}} \right), \quad (7)$$

где $D_{ств}$ – диаметр проточной части ствола гидроструйного аппарата, равный диаметру форсунки.

Время нарезки полостей. Теоретическое время нарезки дисковой полости $T_{нар.т}$, мин, определяется по формуле:

$$T_{нар.т} = (\pi l_p^2 N_{пол.}) \div 60 Q \Psi = (\pi l_p^2 N_{пол.}) \div 60 P_{теор.}, \quad (8)$$

где $N_{пол.}$ – глубина полости, для дисковых полостей равна $N_{пол} = 3d_\phi$.

Теоретический расход воды, затрачиваемой на нарезку полостей в одной скважине, вычисляется по формуле:

$$Q_t = Q_\phi n_\phi n_n T_{нар.т}, \quad (9)$$

где n_ϕ – количество форсунок; n_n – количество полостей, вычисляемое по формуле:

$$n_n = \frac{L_{скв} - l_{пгд}}{l_{шаг}}, \quad (10)$$

где $L_{скв}$ – длина скважины; $l_{пгд}$ – длина зоны повышенных напряжений в массиве; $l_{шаг}$ – шаг нарезки полостей.

Площадь обнажения массива одной дискообразной полостью $S_{пол}$, м², вычисляется по формуле:

$$S_{пол} = 2\pi l_p^2 + 2\pi l_p N_{пол.} \quad (11)$$

Площадь обнажения массива видоизмененной скважиной $S_{скв}$, м² вычисляется по формуле:

$$S_{скв} = (L_{скв} - N_{пол.} n_n) \pi D_{скв} + \frac{\pi D_{скв}^2}{4} + (S_{пол.} n_n). \quad (12)$$

Выводы. Применение гидравлического расширителя повысит площадь обнажения и интенсификацию метаноотдачи угольного пласта. За счет повышения газопроницаемости пласта планируется повышение метаноотдачи. Способность аппарата гидравлической резки пород и расширения скважин в горном массиве создавать дискообразные полости положительно изменит показатели угольных шахт за счёт снижения количества буровой мелочи в сравнении с механическими раздвижными расширителями. Применение жидкости в качестве инструмента резания создает возможность применения агрегата как на мягких и вязких породах, так и на породах с высокой крепостью.

Список литературы

1. Домрачев А.Н., Риб С.В., Никитина А.М. Выбор и обоснование алгоритма моделирования работы длинного очистного забоя с учетом влияния неравномерности метаноотделения // Вестник СибГИУ. – 2017. – № 1 (19). – С. 44-45.

2. Бурение и нефть: Инструменты для разобщения пластов. – URL: <https://burneft.ru/archive/issues/2014-06/8>

3. Раздвижные расширители – URL: <https://drillmarket.ru/shop/rasshiriteli-skvazhiny/razdvizhnye-rasshiriteli/>
4. Мерзляков В. Г. Гидроструйные технологии в горном деле. Основные результаты научно-исследовательских работ // Горное оборудование и электромеханика. – 2018. – № 2. – С. 6-11.
5. Жабин А. Б., Поляков А. В., Хачатурян В. Г. Исследование закономерностей разрушения горючих сланцев высокоскоростными струями воды // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2016. – № 3. – С. 135-141.
6. Хачатурян В. Г. Разрушение горючих сланцев высокоскоростными струями воды по щелевой схеме: Автореф. дис.... канд. техн. наук. – Тула: ТулГУ, 2016. – 16 с.
7. Комбинированная разработка угольных месторождений с рекультивацией нарушенных земель: монография / Вал. В. Сенкус, А.Ю. Ермаков, Н.М. Качурин, В.В. Сенкус. – Кемерово: АИ «Кузбассвуиздат», 2017. – 267с.
8. Подготовка и разработка высокогазоносных угольных пластов: справ. пособие / Под общ. ред. А.Д. Рубана, М.И. Щадова. – М.:Издательство «Горная книга», 2010. – 500 с.
9. Оценка газоносности угольного пласта в границах выемочного участка шахты / Д.М. Борзых, А.М. Никитина, С.В. Риб, Е.М. Кузив // Вестник СибГИУ. – 2021. – № 3 (37). – С. 37-44.
10. Численное исследование напряженно-деформированного состояния приконтурного массива в окрестности проводимой горной выработки / А.М. Никитина, Д.М. Борзых, С.В. Риб, А.С. Лесных // Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов. – 2021. – № 7. – С. 119-123.

УДК 622.243.2

ПРИМЕНЕНИЕ ИННОВАЦИОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ И ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ШАХТНОГО НАПРАВЛЕННОГО БУРЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СКВАЖИН

¹к.т.н. Волошин В.А., ¹к.т.н. Риб С.В., ²Рахимкулов И.Р., ²Гончаров Р.С.,
²Черняк М.Г., ³Галимов Р.Н.

**1 – Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, Россия**

2 – ООО «ДМТехнологии», г. Новокузнецк, Россия

3 – ПАО «Распадская», г. Междуреченск, Россия

Аннотация. Описан уникальный положительный опыт проведения водоспускных скважин буровым комплексом направленного бурения типа РСЗ-40, отвечающий требованиям промышленной безопасности, в условиях ПАО «Распадская». Буровой комплекс РСЗ-40 был установлен в горной выработке пласта 7-7а, а конечная точка проводимых скважин располагалась в затопленном вентиляционном штреке вышележащего пласта 15. При производстве работ было с точностью 10см рассчитаны траектории скважин, пролегающие через семь угольных пластов в сложных горно-геологических условиях (различная мощность, газоносность и структурная нарушенность). Перепад высот составил более 220м. Проведены скважины методом направленного бурения длиной до 444м для спуска воды из затопленной одиночной выработки. После подтверждения технической возможности и эффективности уникального опыта бурения направленных водоспускных скважин этой же компанией ООО «ДМТехнологии» были выполнены работы по проведению аналогичных водоспускных скважин с пласта 6-ба в горные выработки пласта 9. Обозначены перспективы направленного бурения при решении сложнейших технических задач со значительным усложнением горно-геологических условий на угольных шахтах.

Научное издание

НАУКОЕМКИЕ ТЕХНОЛОГИИ РАЗРАБОТКИ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

Под общей редакцией профессора В.Н. Фрянова

Компьютерная верстка Л.Д. Павловой

Подписано в печать 23.05.2023 г.

Формат бумаги 60х84 1/16. Бумага писчая. Печать офсетная.
Усл.печ.л. 23,18 Уч.-изд. л. 24,74 Тираж 1000 экз. Заказ 114

Сибирский государственный индустриальный университет
654007, г. Новокузнецк, ул. Кирова, 42.
Издательский центр СибГИУ