

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Булгаков Ю.Ф., Мельникова Я.В. Оценка параметров шахтной вентиляционной сети при подземных пожарах // Горн. информ.-аналит. бюл. – 2009. – № S13. – С. 107-114.
2. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Инструкция по локализации и ликвидации последствий аварий на опасных производственных объектах, на которых ведутся горные работы»: утв. 11.12.2020, № 520. (С изменениями на 8.12.2023 г.). – Текст электронный // Консорциум КОДЕКС. Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации: офиц. сайт. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/573140267>. Дата обращения (15.09.2024).
3. Аналитический комплекс «АэроСеть»: программа для ЭВМ: свидетельство о гос. регистрации № 2015610589 / Зайцев А.В., Казаков Б.П., Кашников А.В., Кормщиков Д.С., Круглов Ю.В., Левин Л.Ю., Мальков П.С., Шалимов А.В.; заявитель и правообладатель ГИ УрО РАН – № 2014613790; заявл. 24.04.2014; зарегистрировано 14.01.2015; опублик. 20.02.2015. – 1 с..
4. Левин Л.Ю., Палеев Д.Ю., Семин М.А. Расчет устойчивости воздушных потоков в выработках шахтных вентиляционных сетей по фактору тепловой депрессии // Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. – 2020. – № 1. – С. 81-85.
5. Попов М.Д., Кормщиков Д.С., Семин М.А., Левин Л.Ю. Расчет устойчивости воздушных потоков в горных выработках по фактору тепловой депрессии в аналитическом комплексе «Аэросеть» // Безопасность труда в промышленности. – 2020. – № 10. – С. 24-32. – DOI: 10.24000/0409-2961-2020-10-24-32.
6. Овчаренко Г.В., Пихконен Л.В. Перспективные направления способов изоляции подземных выработок при тушении пожаров на угольных шахтах // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2015. – № S7. – С. 373-381.
7. Минеев С.П., Смоланов С.Н., Самопаленко П.М., Беликов И.Б. О некоторых вопросах тушения сложных пожаров в угольных шахтах // EESJ. – 2018. – №9-1. – С. 52-58.

УДК 622.831.322 + 622.233

DOI:10.7242/echo.2024.4.13

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАДИУСА
ЗОНЫ ЭФФЕКТИВНОГО ТРЕЩИНООБРАЗОВАНИЯ
ИЗВЕСТНЯКОВ**

Е.А. Нестеров

Горный институт УрО РАН, г. Пермь

Аннотация: Природные газы при разработке различных месторождений оказывают существенное влияние на технологию проходки как подготовительных, так и очистных выработок. С увеличением глубины разработки, как правило, это влияние только усиливается. В качестве мероприятия по дегазации массива горных выработок рассмотрена дегазация пород впереди забоя горной выработки посредством торпедирования массива. Представлены результаты экспериментального определения основного параметра тоорпедирования – радиуса эффективного трещинообразования на основе изучения газопроницаемости пород нетронутого массива и после торпедирования, а также по показателю воздухопоглощения.

Ключевые слова: вмещающие породы, газопроявления, известняки, радиус эффективного трещинообразования, дегазация пород, шпуровой заряд.

Введение

Для поддержания производственных мощностей предприятия, ведущих разработку полезных ископаемых, распространяющихся до больших глубин, рано или поздно встает вопрос о переходе подготовительных и очистных работ на более глубокие горизонты. Увеличение глубины разработки, в свою очередь, сопровождается ростом температуры, изменением физико-механических свойств горных пород, увеличением природной газоносности пород и вероятностью возникновения газодинамических явлений в крепких вмещающих породах. Для обеспечения безопасности проходки горных выработок по газоносным вмещающим породам одним из вариантов приведения массива в безопасное расстояние является их предварительная дегазация. Под дегаза-

цией массива понимается создание впереди забоя по трассе подготовительной выработки каналов фильтрации, по которым газ дренирует в призабойное пространство и удаляется при помощи вентиляторов местного проветривания из рабочей зоны. В качестве каналов фильтрации могут применяться дегазационные шпуры, скважины, также известен и способ передового торпедирования вмещающих пород, в результате которого каналами фильтрации выступают трещины, формирующиеся вокруг шпура при взрывных работах.

Одним из основных показателей в части обработки массива при разработке параметров торпедирования является расстояние, на которое происходит «рост» трещин вокруг шпура – радиус эффективного трещинообразования.

Методика определения радиуса эффективного трещинообразования

Предварительная обработка горного массива, которая осуществляется с целью удаления из него свободных газов и предотвращения внезапных выбросов, весьма эффективна при разработке калийно-магниевого руд, проходке выработок во вмещающих породах кимберлитовых трубок и угольных месторождений [1-5].

Определение радиуса эффективного трещинообразования базируется на сравнении газопроницаемости нетронутого массива и массива, обработанного взрывчатыми веществами [6-11].

Исследования газопроницаемости выполнены в действующих горных выработках шахты, пройденных по вмещающим породам, представленным известняками.

Для проведения эксперимента по определению газопроницаемости нетронутого массива в стенку горной выработки осуществляется бурение двух шпуров, обеспечивая их параллельность: в шпуре № 1 создается избыточное давление, в шпуре № 2 снимаются показатели.

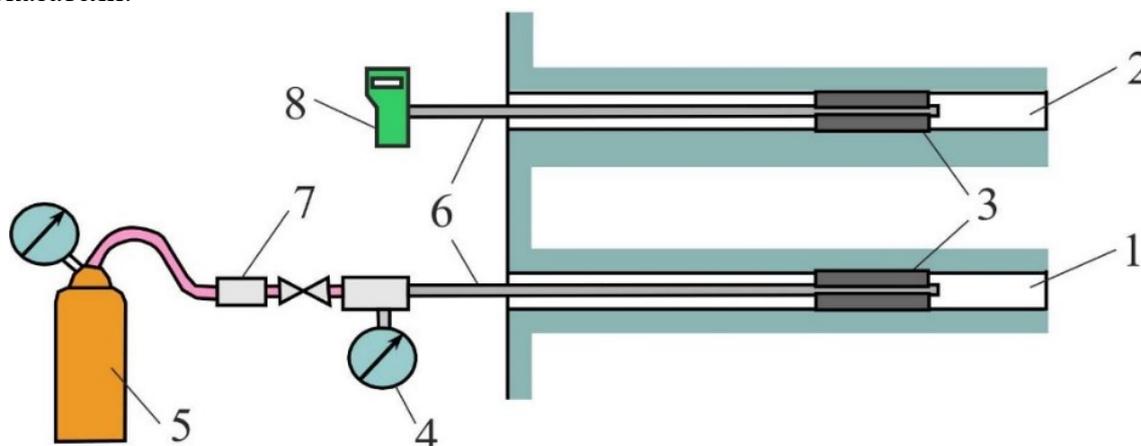


Рис. 1. Схема для определению газопроницаемости исследуемых пород:

1 – шпур с избыточным давлением, 2 – шпур - приемник, 3 – герметизирующее устройство, 4 – манометр, 5 – газовый баллон, 6 – шланги, 7 – редуктор, 8 – газовый расходомер

Газопроницаемость пород определяется по известному выражению:

$$K = \frac{4 \cdot g \cdot R \cdot P_{\text{атм}}}{3,3 \cdot 10^{-3} \cdot (P_0^2 - P_{\text{атм}}^2)}, \text{ мД}$$

где

g – расход применяемого газа, м³/сут;

R – расстояние на которое удалены шпур под давлением и шпур-приемник;

$P_{\text{атм}}$ – атмосферное давление, кгс/см²;

P_0 – давление газа в шпуре №1, кгс/см².

Газоистечения из свежесвернутого шпура, при его наличии, обязательно необходимо учитывать при записи показателей. Истинная величина расхода газа определяется разницей между показаниями в шпуре-приемнике при установлении избыточного давления и расходом природного газа из шпура. Замеры газопроницаемости нетронутого массива выполняются несколько раз при различном избыточном давлении и определяется среднее значение.

Далее осуществляется взрывание исследовательского шпура. Его конструкция представлена на рисунке 2.

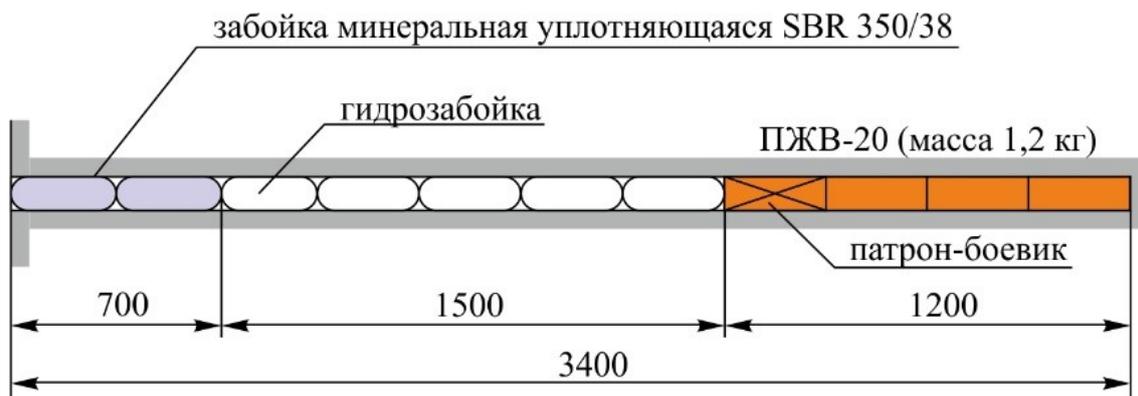


Рис. 2. Конструкция заряда в шпуре предназначенном для торпедирования

Далее поиск расстояния, на которое распространяются концентрические и радиальные трещины, образуя связь между комплектами шпуров, выполняется в следующей последовательности. От шпура, который предназначен для торпедирования, с определенным шагом выполняется бурение комплектов шпуров (шпур с избыточным давлением и шпур-приемник) (рис. 3).

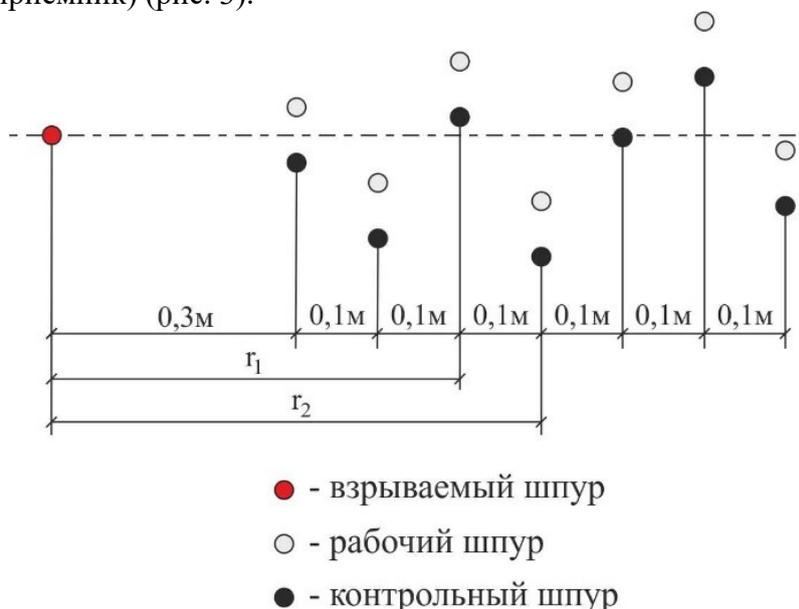


Рис. 3. Сетка расположения экспериментальных шпуров

Радиус эффективного трещинообразования является средним арифметическим между расстояниями, соответствующими комплектам, в которых газопроницаемость пород еще превышает газопроницаемость необработанного массива (r_1) и соответствует ей (r_2), умноженным на коэффициент запаса (0,9), т.е.

$$R_{эф} = 0,9 \cdot \frac{r_1 + r_2}{2}$$

Результаты шахтных измерений по определению радиуса трещинообразования

В таблице 1 представлены условия, при которых выполнены замеры, и их результаты. Коэффициент газопроницаемости нетронутого массива составляет:

$$K = (0,026+0,028+0,022)/3 = 0,025 \text{ мДарси}$$

Таблица 1

Результаты исследований газопроницаемости известняков

Расстояние до комплекта, м	Избыточное давление в шпуре, кгс/см ²	Расход газа, см ³ /сек	Газопроницаемость, мДарси
не обработанный массив			
	10,8	0,101	0,026
	10	0,090	0,028
	5,5	0,021	0,022
трещиноватый массив			
0,3	10,5	0,109	0,030
0,4	10	0,142	0,043
0,5	9,9	0,126	0,039
0,6	9,5	0,088	0,030
0,7	4	0,011	0,022

Радиус зоны эффективного трещинообразования известняков при этом составил:

$$R_{эф} = 0,9 * (0,5 + 0,6)/2 = 0,495 \text{ м}$$

Эффективность обработки массива также можно определить по показателю воздухопоглощения (таблица 2).

Таблица 2

Результаты определения воздухопоглощения

Расстояние до комплекта, м	Изменение объема, л	Время, мин	Воздухопоглощение, л/мин	Среднее значение, л/мин
до торпедирования				
	0,8	20	0,040	0,042
	1	22	0,045	
	0,5	12	0,042	
после торпедирования				
0,3	5	6	0,833	0,257
0,4	1,5	5	0,300	
0,5	0,65	9	0,072	
0,6	1	26	0,038	
0,7	1	23	0,043	

Из результатов видно, что на расстоянии до комплекта 0,6 м от взрываемого шпура коэффициент воздухопоглощения близок коэффициенту воздухопоглощения необработанного массива. Следовательно, на расстоянии 0,6 м от шпура рост трещин в результате торпедирования прекращается.

Таким образом, соотношение средних показателей воздухопоглощения до и после торпедирования составляет:

$$K_{эф} = 0,257/0,042 = 6,12$$

Как можно заметить, средние показатели воздухопоглощения после и до торпедирования в 6 раз отличаются друг от друга, что обеспечивает достаточный уровень трещинообразования и, следовательно, дегазации массива в результате торпедирования.

Заключение

В результате проведенных исследований можно сделать следующие выводы.

1. По коэффициенту газопроницаемости радиус эффективного трещинообразования для известняков при использовании в качестве взрывчатого вещества Аммонита ПЖВ-20 составляет 0,585 м.
2. По показателю воздухопоглощения радиус эффективного трещинообразования составляет 0,6 м.
3. При расчетах параметров торпедирования с целью дегазации известняков, радиуса эффективного трещинообразования вокруг шпурового заряда следует принимать не более 0,585 м.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Андрейко С.С. Газодинамические явления в калийных рудниках: методы прогнозирования и способы предотвращения: учеб. пособие. – Пермь: Изд-во. ПГТУ, 2007. – 208 с.
2. Нестерова С.Ю. Технология дегазации выбросоопасных пород при механизированной выемке карналлита / С.Ю. Нестерова // Изв. вузов. Горн. журн. – 2008. – № 8. – С. 47-52.
3. Технологический регламент механизированной отработки карналлитового пласта В на руднике СКРУ-1 ПАО «Уралкалий». – Пермь-Березники, 2018 г. – 48 с.
4. Ремез Н.С., Вовк О.А., Вапничная В.В. Разработка методов прогнозирования и снижения опасности динамических процессов в угольной промышленности // Проблемы горного давления. – 2013. – № 1-2 (22-23). – С. 18-36.
5. Вьюников А.А., Ворожцов С.Г., Пуль Э.К., Ковешников П.Ю. Способы профилактики внезапных выбросов породы и газа при ведении горных работ на сверхглубоких горизонтах подземного рудника «Интернациональный» // Горный журнал. – 2023 – № 1. – С. 133-138. – DOI: 10.17580/gzh.2023.01.22.
6. Долгов П.В., Шевцова В.С. Обоснование радиуса зоны трещинообразования при торпедировании для борьбы с газодинамическими явлениями // Горный журнал. – 2017 – № 1. – С. 23-25. – DOI: 10.17580/gzh.2017.01.04.
7. Мальцев В.М. Расчет радиуса зоны трещинообразования одиночного удлиненного заряда ВВ // Стратегия и процессы освоения георесурсов: материалы ежегод. науч. сес. ГИ УрО РАН по результатам НИР в 2009 г. – Пермь, 2010. – С. 220-222.
8. Николин В.И., Меликсетов С.С., Беркович И.М. Выбросы породы и газа. – М.: Недра, 1967. – 80 с.
9. Прогноз и предотвращение выбросов пород и газа / под ред. В.Н. Потураева. – Киев: Наук. Думка. – 1986. – 158 с.: ил.
10. Большинский М.И., Матлак Е.С., Федченко А.Е. Проведение выработок по выбросоопасным песчанникам проходческими комбайнами. – М.: ЦНИЭИуголь. – 1977. – 15 с.
11. Нестеров Е.А., Бобров Д.А. Исследование трещинообразования при взрывном воздействии на выбросоопасные доломитовые породы // Инженерная и рудная геофизика – 2020: 16-я науч.-практ. конф., 14-18 сент. 2020. – Пермь, 2020. – С. 61. – DOI: 10.3997/2214-4609.202051078.