

УДК 622.411.332.023.623:622.83

Минеев С.П., д-р техн. наук, профессор,
Круковская В.В., д-р техн. наук, ст. науч. сотр.,
Круковский А.П., д-р техн. наук, ст. науч. сотр.,
Кочерга В.Н., магистр
(ИГТМ НАН Украины)

**ИЗМЕНЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ФИЛЬТРАЦИИ МЕТАНА
В УГЛЕПОРОДНОМ МАССИВЕ ВОКРУГ ВЫЕМОЧНОГО ШТРЕКА
ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБОВ ЕГО ОХРАНЫ**

Мінєєв С.П., д-р техн. наук, професор,
Круковська В.В., д-р техн. наук, ст. наук. співр.,
Круковський О.П., д-р техн. наук, ст. наук. співр.,
Кочерга В.М., магістр
(ІГТМ НАН України)

**ЗМІНА ПАРАМЕТРІВ ФІЛЬТРАЦІЇ МЕТАНУ
У ВУГЛЕПОРОДНОМУ МАСИВІ НАВКОЛО ВИЇМКОВОГО ШТРЕКУ
ПРИ ЗАСТОСУВАННІ РІЗНИХ СПОСОБІВ ЙОГО ОХОРОНИ**

Mineev S.P., D.Sc. (Tech.), Professor,
Krukovskaya V.V., D.Sc. (Tech.), Senior Researcher,
Krukovskiy A.P., D.Sc. (Tech.), Senior Researcher,
Kocherga V.N., M.S. (Tech.),
(IGTM of the NAS of Ukraine)

**CHANGE OF METHANE FILTRATION PARAMETERS
IN COAL-ROCK MASSIF AROUND THE GATE ROAD
WITH DIFFERENT TYPES OF SUPPORTS**

Аннотация. С помощью методов численного моделирования проведено исследование влияния способа охраны выемочного штрека на процесс фильтрации метана в углепородном массиве и эффективность работы системы дегазационных скважин.

В статье приведены распределения значений давления метана и скоростей его фильтрации в случаях, когда охранные сооружения не применяются и при четырех способах охраны выемочного штрека. Показано, что без использования охранных конструкций дегазационные скважины при их подработке разрушаются и прекращают работу. Использование стойки, ремонтны, костра приводит к восстановлению работы одной скважины. При дальнейшем усилении охранных конструкций дебит метана в двух дегазационных скважинах, а также эффективность дегазации кровли скважинами значительно возрастают.

Также показано, что дебит метана в дегазационной скважине минимален при ее расположении за пределами области фильтрации, окружающей выработанное пространство; стабилен и составляет 60 % от максимума в зоне повышенной трещиноватости; достигает наибольших значений на границе с зоной неупругих деформаций и падает до 0 при дальнейшем уменьшении угла наклона над горизонтом.

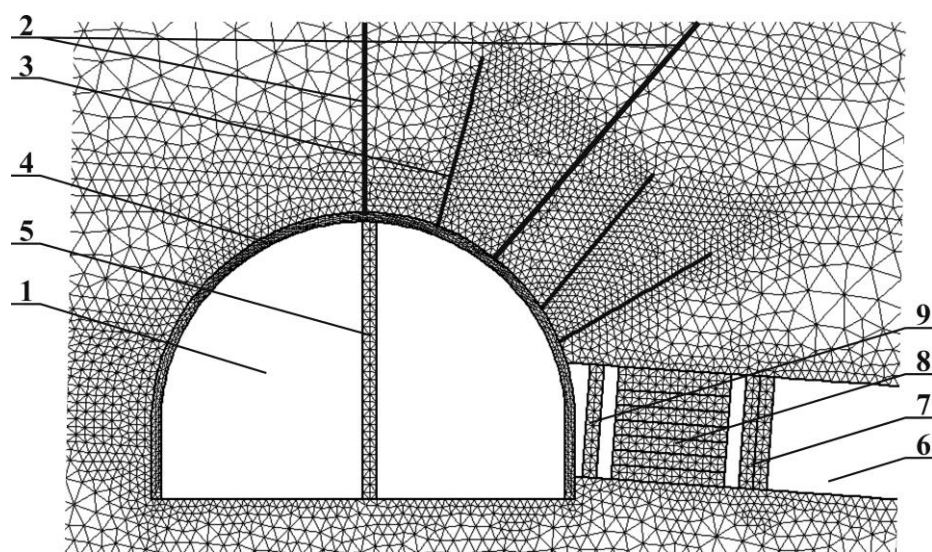
Ключевые слова: фильтрация метана, выемочный штрек, эффективность дегазации кровли скважинами.

На выемочных участках, проветриваемых по возвратноточной схеме (1-М), исходящая вентиляционная струя примыкает к отработанному угольному массиву, а вентиляционная выработка за лавой не обслуживается и не контролируется [1]. В таких условиях дегазационные скважины можно бурить только впереди очистного забоя навстречу его движению. При отсутствии охраны выемочного штрека после прохода лавы дегазационные скважины разрушаются, и их отключают от дегазационной системы [1].

Применение различных способов охраны выемочного штрека снижает разнокомпонентность поля напряжений вокруг выработки, сокращает зону неупругих деформаций над выработанным пространством. Устойчивость дегазационных скважин при применении костров повышается на 6-20 %, костров и 2 рядов органной крепи – на 30-33 %; бутокостров и 2 рядов органной крепи – на 43-50 %; бутокостров, 2 рядов органной крепи и чурбаковой перемычки – на 45-56 % [2].

В связи с этим **целью работы** является исследование влияния способа охраны выемочного штрека на процесс фильтрации метана в углепородном массиве и эффективность работы системы дегазационных скважин.

Постановка задачи. Рассмотрим горную выработку, проведенную в слоистом массиве горных пород, закрепленную рамно-анкерной крепью, с двумя дегазационными скважинами, с различными охранными сооружениями, рис. 1, впереди и позади очистного забоя.



1 – выработка; 2 – дегазационные скважины; 3 – сталеполимерный анкер;
4 – рамная крепь; 5 – ремонтна; 6 – выработанное пространство; 7 – 2 ряда органной крепи;
8 – костер (бутокостер); 9 – стойка

Рисунок 1 – Центральный фрагмент конечно-элементной сетки

При моделировании фильтрации метана в нарушенном горном массиве в окрестности очистной выработки будем считать, что газовый поток является непрерывной, сплошной, изотермической средой, заполняющей все поровое пространство рассматриваемой области горного массива. Если рассматривать движение лавы, когда она уже отошла от разрезной печи на достаточное

расстояние и движется с постоянной скоростью, то можно заметить, что область фильтрации будет перемещаться вместе с плоскостью очистного забоя, с такой же скоростью. При этом уравнения, описывающие движение метана в этой области, граничные и начальные условия останутся неизменными в любой момент времени. Следовательно, при движении лавы распределения основных параметров будут перемещаться, не изменяясь, со скоростью движения лавы [3].

В этом случае процесс фильтрации можно считать установившимся в подвижной системе координат, связанной с движущейся линией забоя. Квазистационарная фильтрация метана в нарушенной области горных пород [4, 5] при условии наличия источников метановыделения описывается уравнением:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k_x \rho \frac{\partial p}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k_y \rho \frac{\partial p}{\partial y} \right) = \mu \frac{\partial q}{\partial t}, \quad (1)$$

где k_x , k_y – коэффициенты проницаемости, определяемые из уравнений, приведенных в [6], в зависимости от соотношения компонент тензора главных напряжений; p – давление газа; ρ – плотность газа; μ – вязкость газа; $q(t) = q_0 \cdot e^{-at}$ – функция метановыделения, десорбции метана из нарушенных

угольных пластов и газоносных песчаников; $q(t) = q_0 \cdot e^{-a \frac{t}{4}}$ – функция метановыделения из газоносных песчаников, т.к. истощение газовой выделению из газоносных песчаников происходит примерно в 4 раза быстрее, чем из угля [7]; q_0 – начальное газовой выделение; a – коэффициент, учитывающий свойства газоотдачи угольного пласта; t – время, прошедшее с момента начала газовой выделение.

Граничные условия для данной задачи – давление метана в нетронутом массиве – p_0 , давление в очистном забое и прилегающих выработках $p_0^* = 0,1$ МПа .

Задача решается с применением метода конечных элементов [8-10]. Верификация модели фильтрации газа в нарушенной области была выполнена путем сравнения расчетных данных по газовой выделению в скважину с аналитическими решениями; по распределению давления газа вокруг скважины и изменению давления в подрабатываемом угольном пропластке – с экспериментальными данными.

Рассмотрим следующие варианты использования охранных конструкций:

- 1) охранные конструкции не применяются (сечение впереди очистного забоя);
- 2) охранные конструкции не применяются (сечение позади очистного забоя);
- 3) стойка, ремонтна, костер (сечение позади очистного забоя);
- 4) стойка, ремонтна, костер, 2 ряда органной крепи (сечение позади очистного забоя);

5) стойка, ремонтина, бутокостер, 2 ряда органной крепи (сечение позади очистного забоя);

6) стойка, бутокостер, 2 ряда органной крепи, чурбаковая переемычка (сечение позади очистного забоя).

Как объект для проведения исследований была выбрана высоконагруженная 1-я северная лава блока №3 пласта d_4 ПАО «ШУ «Покровское». Конвейерный штрек проведен на глубине 580 м, вентиляционный – на глубине 550 м. Угол падения пласта 3-5°, мощность – 1,5 м. Длина лавы – 256 м. Газоносность песчаников – 0,7-0,9 м³/т, угольного пласта d_4 и пропластков d_4^1 и d_4^2 – 20 м³/т. Длина дегазационных скважин 48 м, глубина герметизации – 10 м.

Результаты расчета. Ранее были рассчитаны поля напряжений, деформаций, зоны неупругих деформаций [2] для шести рассмотренных вариантов поддержания выемочного штрека, рис. 2.

Применение каждого вида охранных конструкций выводит от 5 до 10 % длины скважины из опасной зоны. В вариантах расчета № 3-6 область неупругих деформаций все дальше отодвигается от выработки и от устья дегазационной скважины № 2.

В результате решения уравнения (1) были получены распределения давления метана, скорости его фильтрации, расходы в каждой точке области и в дегазационных скважинах. На рис. 3 а приведено распределение давления метана для случая, когда охранные конструкции не применяются, сечение перед подходом очистного забоя. В этом случае мы видим области пониженного давления метана ($p/p_0 < 1$) вдоль незагерметизированной части дегазационных скважин и вокруг выработки, что говорит о протекании процесса фильтрации газа из указанных областей соответственно в дегазационную систему и в атмосферу выемочного штрека.

Скорость фильтрации определяется как расход метана через единичную площадку пористой среды, перпендикулярную направлению потока. Для иллюстрации процесса движения метана были построены траектории его движения в исследуемой области, представленные на рис. 3 б. Видно, что метан из угольного пласта d_4 и расположенных в кровле и почве выработки газоносных песчаников перемещается в выработку, атмосферное давление в которой составляет всего 0,1 МПа. Из угольных пропластков d_4^1 и d_4^2 и вышележащих песчаников – в дегазационную систему.

С отходом лавы области пониженного давления метана увеличиваются, охватывая все выработанное пространство, рис. 4 а (вариант № 2 – охранные конструкции не применяются). Вокруг скважин давление метана соответствует давлению в нетронутом массиве, что говорит об отсутствии процесса фильтрации газа из источников в дегазационную систему. В этом случае дебит метана в дегазационные скважины № 1 и 2 практически равен 0, табл. 2.

Большая часть метана из источников, расположенных в кровле, поступает не в дегазационную систему, а в выработанное пространство, т.к. ничем не поддерживаемый правый борт выработки разрушается, целостность скважин нарушена – они попадают в зону неупругих деформаций, рис. 2.

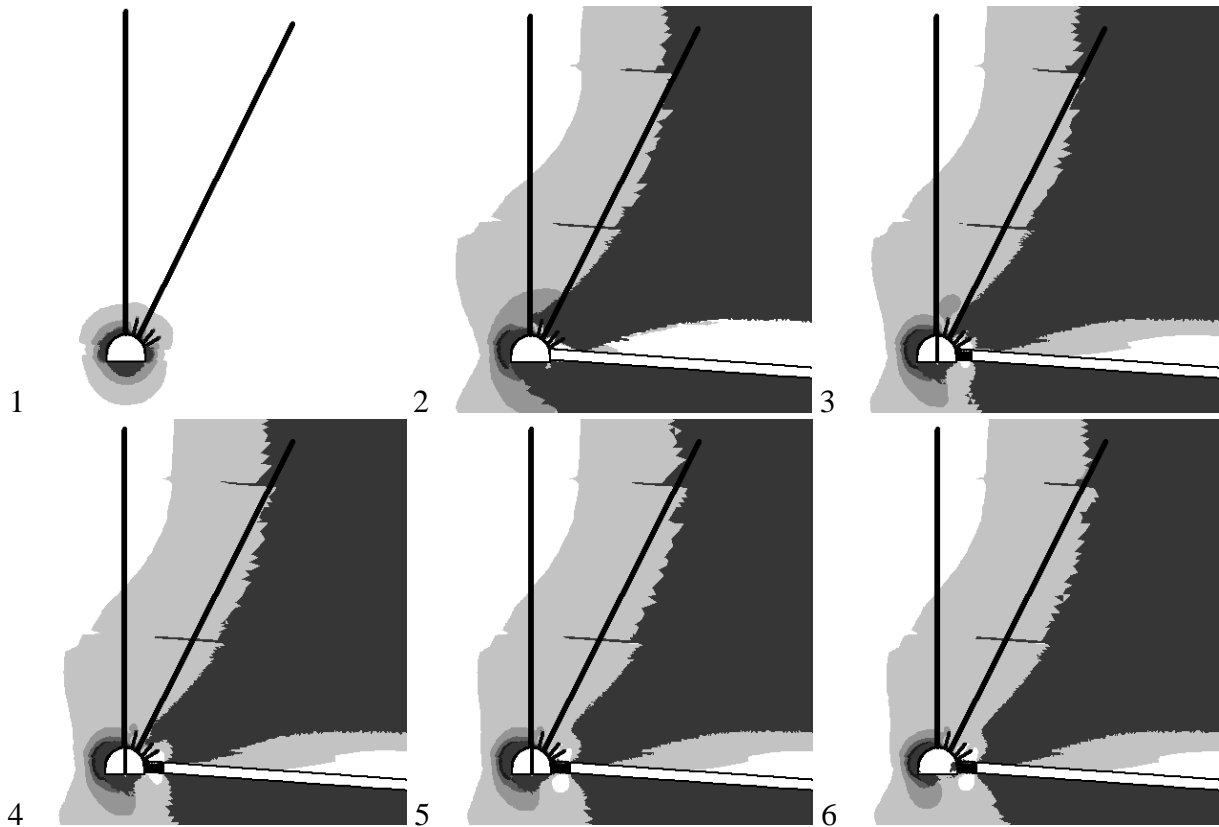
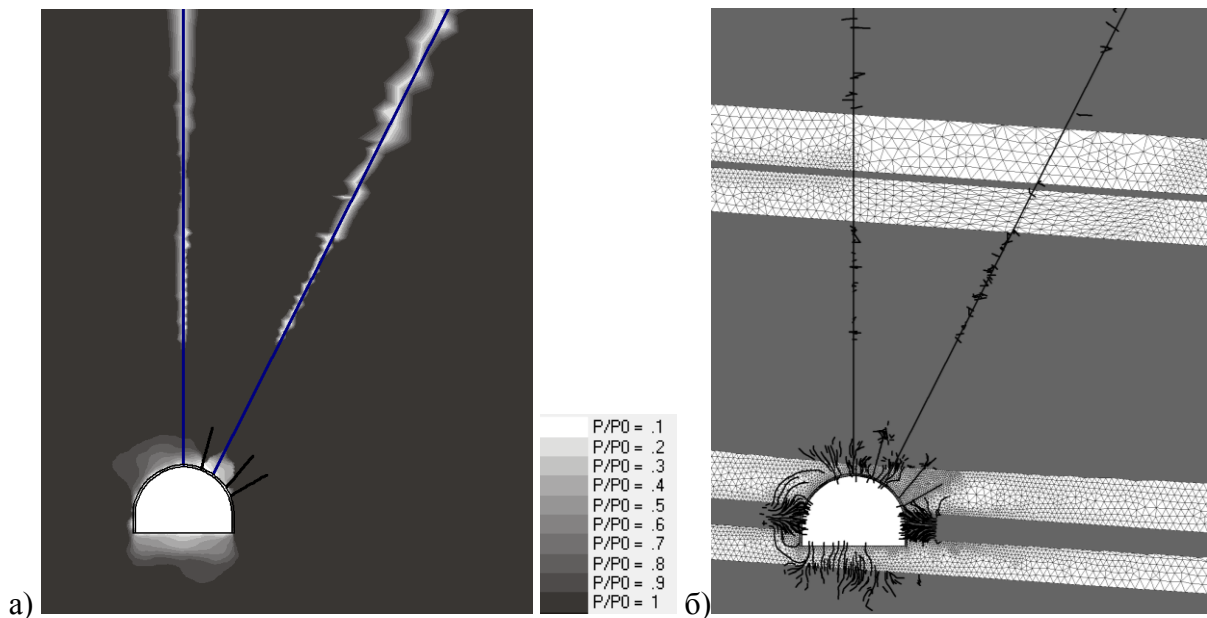


Рисунок 2 – Расположение дегазационных скважин относительно зоны неупругих деформаций (черный цвет) для шести рассмотренных вариантов расчета

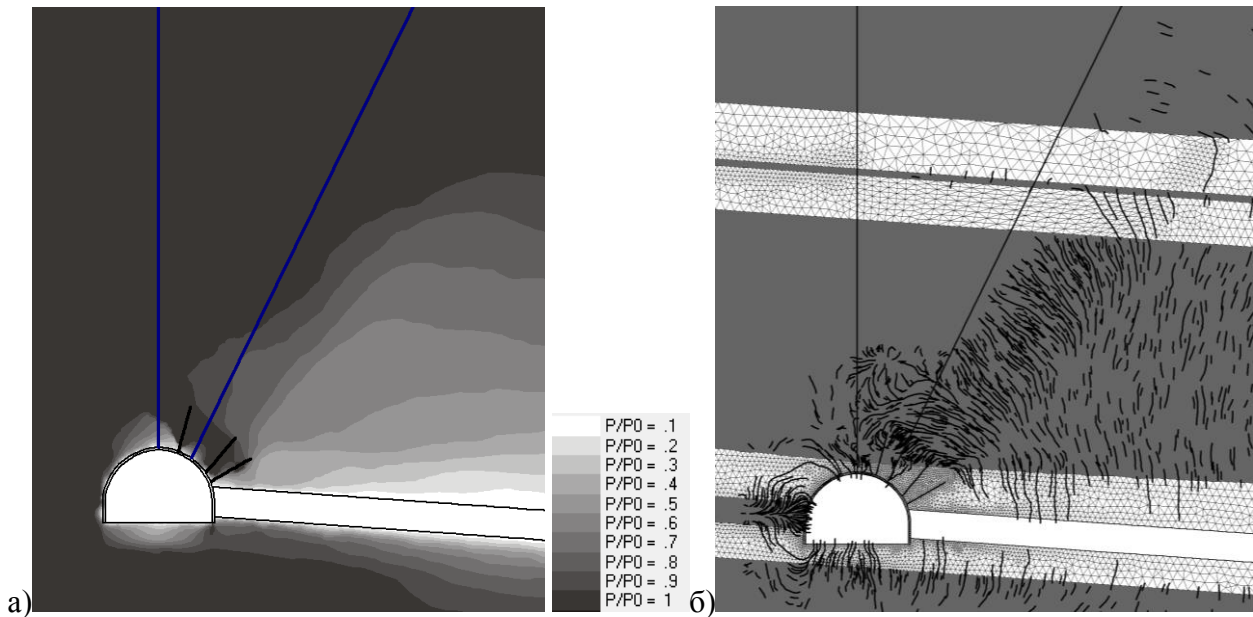


а – относительное давление; б – траектории движения потоков метана.

Рисунок 3 – Параметры фильтрации метана, вариант № 1

Траектории движения потоков метана также кардинально изменяются по сравнению с предыдущим вариантом, рис. 4 б. Видно, что метан из подработанных и надработанного песчаников и угольных пропластков справа

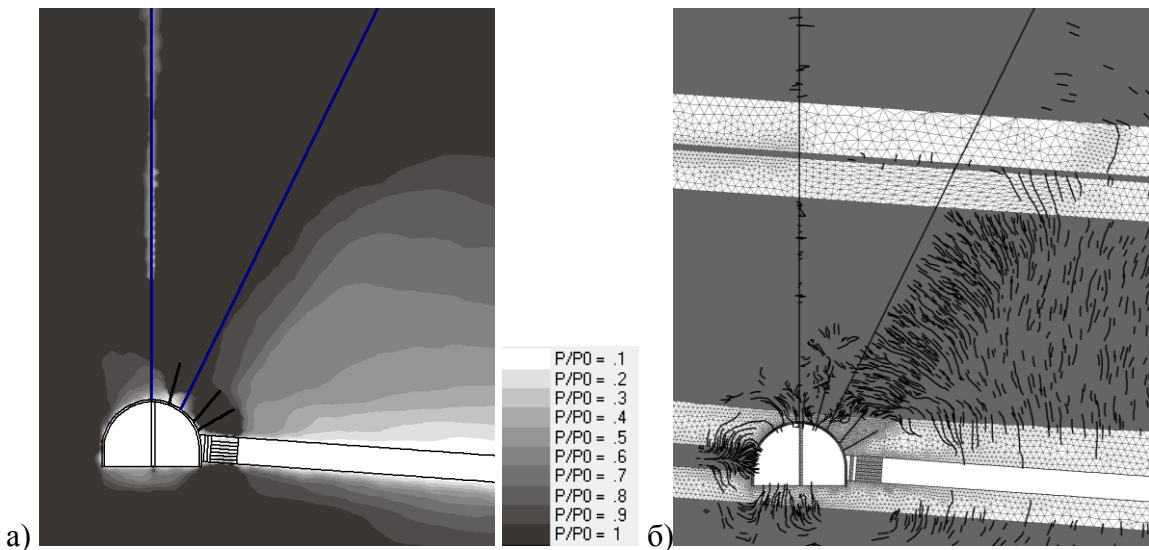
от скважины № 2 перемещается в выработанное пространство. В атмосферу выемочного штрека попадает метан из обрабатываемого пласта и песчаников кровли и почвы.



а – относительное давление; б – траектории движения потоков метана

Рисунок 4 – Параметры фильтрации метана, вариант № 2

Применение стоек, ремонтин и костров (вариант № 3) изменяет ситуацию в лучшую сторону, рис. 5.



а – относительное давление; б – траектории движения потоков метана

Рисунок 5 – Параметры фильтрации метана, вариант № 3

Граница области неупругих деформаций, окружающей выработанное пространство, слегка отодвигается от дегазационных скважин благодаря укреплению образовавшейся над выработанным пространством консоли, рис. 2.

Вокруг скважины № 1 видна область пониженного давления метана – скважина работает, метан поступает из источников газовыделения, расположенных в кровле, в дегазационную систему.

Однако скважина № 2 по-прежнему пересекает зону неупругих деформаций над выработанным пространством, рис. 2. Дебит метана в ней равен нулю, табл. 2. Обширная область пониженного давления вокруг выработанного пространства говорит об активной фильтрации метана в этой зоне. На рис. 5 б показаны траектории движения потоков метана в этом случае. Интенсивность фильтрации метана в области загерметизированной части скважин уменьшилась, т.к. проницаемость породно-анкерной консоли при применении охранных конструкций снизилась. Появилось движение метана в дегазационную скважину № 1.

Если к охранным конструкциям, рассмотренным ранее добавить 2 ряда органной крепи (вариант № 4), параметры фильтрации метана в исследуемой области горного массива опять изменятся, рис. 6. В этом случае и скважина № 2 выходит из зоны разрушения и вступает в работу по дегазации кровли, ее фильтрующую часть окружает область пониженного давления метана. Дебит метана в ней равен $3,07 \text{ м}^3/\text{мин}$, табл. 2. Вокруг выработанного пространства сохраняется область пониженного давления. Траектории движения потоков метана в этом случае, рис. 6 б, также указывают на наличие процесса фильтрации метана в дегазационную скважину № 2.

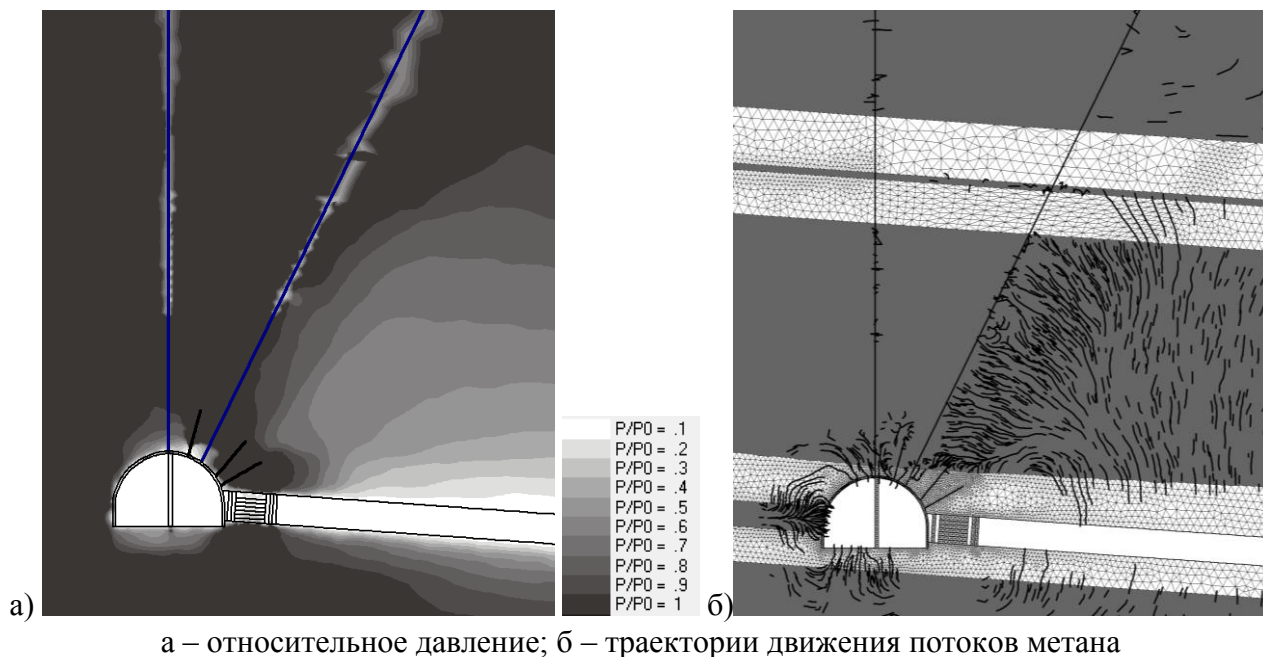


Рисунок 6 – Параметры фильтрации метана, вариант № 4

Вариант №5: в качестве охранных сооружений используются стойка, ремонтна, бутокостер, 2 ряда органной крепи. Породно-анкерная консоль над выработанным пространством удерживается в устойчивом состоянии, благодаря чему дегазационные скважины не пересекают границу области неупругих деформаций и сохраняют свою работоспособность даже после

прохода лавы. Дебит метана в скважинах № 1 и 2 равен соответственно 0,93 и 3,68 м³/мин, табл. 2. Траектории движения потоков метана для этого варианта расчета показаны на рис. 7 б. Видно, что метан из подработанных и надработанных песчаников и угольных пропластков перемещается как в выработанное пространство, так и в дегазационные скважины. В атмосферу выемочного штрека попадает метан из обрабатываемого пласта и песчаников кровли и почвы.

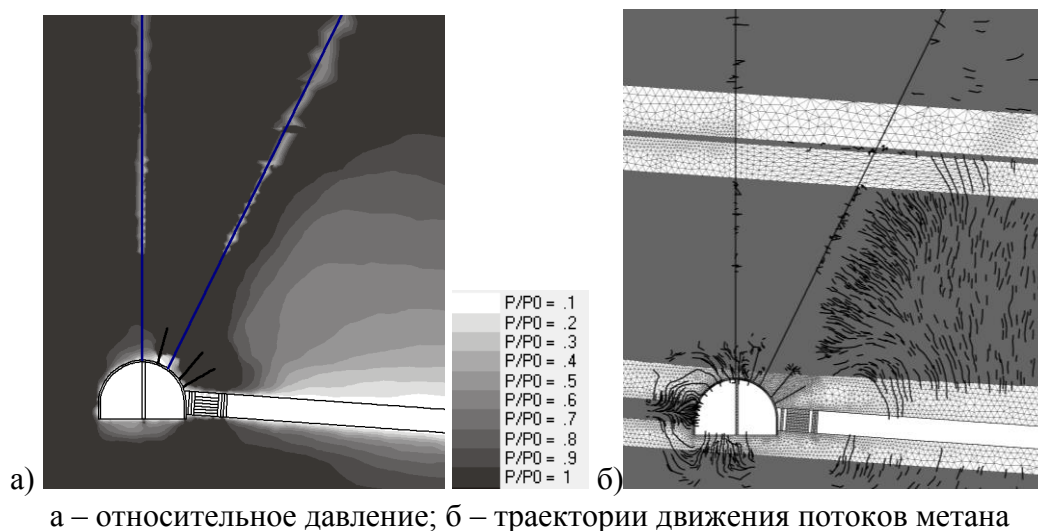


Рисунок 7 – Параметры фильтрации метана, вариант № 5

Наибольший результат по дегазации подработываемых источников газовыделения достигается при применении стоек, бутокостров, 2-х рядов органной крепи и чурбаковых перемычек (вариант № 6). Дебит метана в скважине № 2 — 4,23 м³/мин. Параметры фильтрации метана в исследуемой области горного массива для этого варианта охраны выемочного штрека представлены на рис. 8.

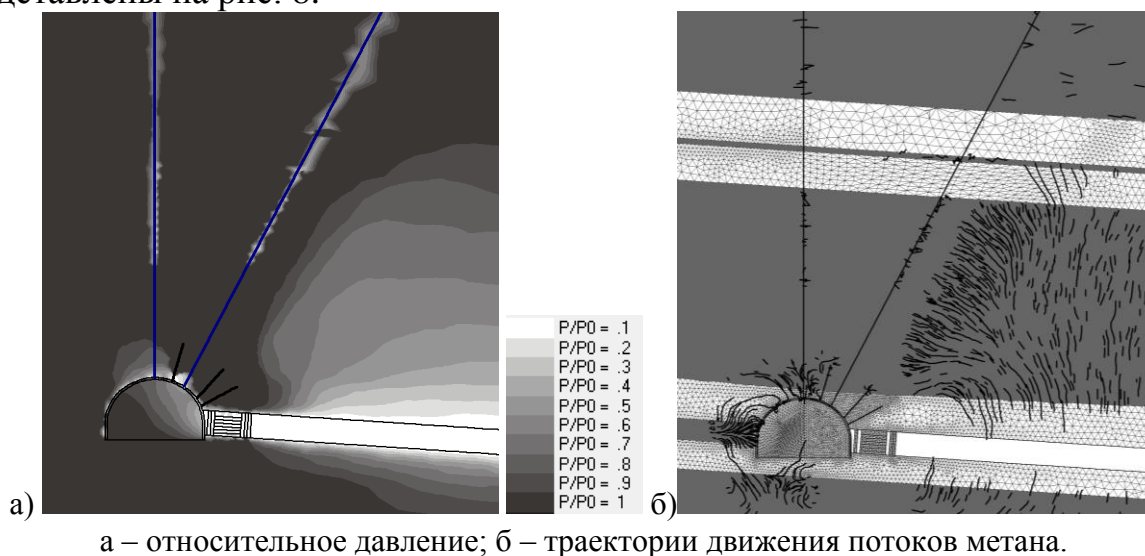


Рисунок 8 – Параметры фильтрации метана, вариант № 6

Исследуем эффективность работы системы дегазационных скважин при

использовании различных способов охраны выемочного штрека. Для этого рассчитаем дебит метана в скважинах путем суммирования значений расходов метана в узлах конечно-элементной сетки, принадлежащих дегазационным скважинам. Причем, если узлы скважины попадают в зону неупругих деформаций, будем считать, что эта часть скважины не работает. Дебит метана в скважинах № 1 и № 2 при шести рассмотренных вариантах охраны выемочного штрека приведен в табл. 1.

Таблица 1 – Дебит метана в скважинах при различных вариантах охраны штрека

| Скважина | Дебит метана в скважинах, м ³ /мин, при различных вариантах охраны выемочного штрека | | | | | |
|----------|--|------|------|------|------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| № 1 | 0,93 | 0,05 | 0,93 | 0,93 | 0,93 | 0,93 |
| № 2 | 1,13 | 0,00 | 0,00 | 3,07 | 3,68 | 4,23 |

Приведенные данные свидетельствуют о том, что без использования охранных конструкций дегазационные скважины при их подработке разрушаются и прекращают работу. Использование стойки, ремонтны, костра приводит к небольшому сокращению области разрушения – работа скважины № 1 восстановлена. При дальнейшем усилении охранных конструкций дебит в двух дегазационных скважинах возрастает до 4,61 м³/мин (стойка, ремонтна, бутокостер, 2 ряда органной крепи) и 5,16 м³/мин (стойка, бутокостер, 2 ряда органной крепи, чурбаковая перемычка). При одновременной работе 8-10 скважин суммарный дебит метано-воздушной смеси составит соответственно 18,44-23,05 и 20,52-25,65 м³/мин, что подтверждается экспериментальными данными, полученными при достаточном удалении лавы от разрезной печи на участке 1-й северной лавы пласта d_4 блока №3 ПАО «ШУ «Покровское».

Степень дегазации пласта (источника метана) [7] определяется как отношение разности природной и остаточной метаноносности пласта к его природной метаноносности.

$$D_{нл} = \frac{g_0 - g_{ост}}{g_0} \cdot 100\% . \quad (2)$$

Для расчета степени дегазации подработанных пород кровли отработываемого пласта скважинами из (2) получим:

$$D_{кр} = \frac{\sum_{i=1}^{N_2} Q_{сквi}}{\sum_{j=1}^{N_1} Q_j} \cdot 100\% , \quad (3)$$

где Q_j – объем метана в j -м источнике метановыделения, рассчитанный по природной метаноносности; N_1 – количество источников метановыделения в

кровле; $Q_{сквi}$ – количество метана, каптированное i -ой скважиной за рассматриваемый период времени; N_2 – количество одновременно работающих скважин.

В табл. 2 приведены результаты расчета эффективности дегазации кровли скважинами по формуле (3).

Таблица 2 – Эффективность дегазации кровли скважинами при различных вариантах охраны выемочного штрека

| Вариант охраны выемочного штрека | Эффективность дегазации кровли скважинами, % |
|---|--|
| Охранные конструкции не применяются | 0,68 |
| Стойка, ремонтна, костер | 12,66 |
| Стойка, ремонтна, костер, 2 ряда органной крепи | 54,24 |
| Стойка, ремонтна, бутокостер, 2 ряда органной крепи | 62,60 |
| Стойка, бутокостер, 2 ряда органной крепи, чурбаковая перемычка | 70,06 |

Применение каждого вида охранных конструкций повышает эффективность дегазации кровли скважинами на 8-40 %.

Проанализируем, как изменяется давление метана в исследуемой области горного массива и дебит метано-воздушной смеси в скважине при различных углах ее наклона. Рассмотрим, к примеру, пятый вариант применения охранных конструкций. Результаты расчета представлены на рис. 9, показана только работающая часть скважины.

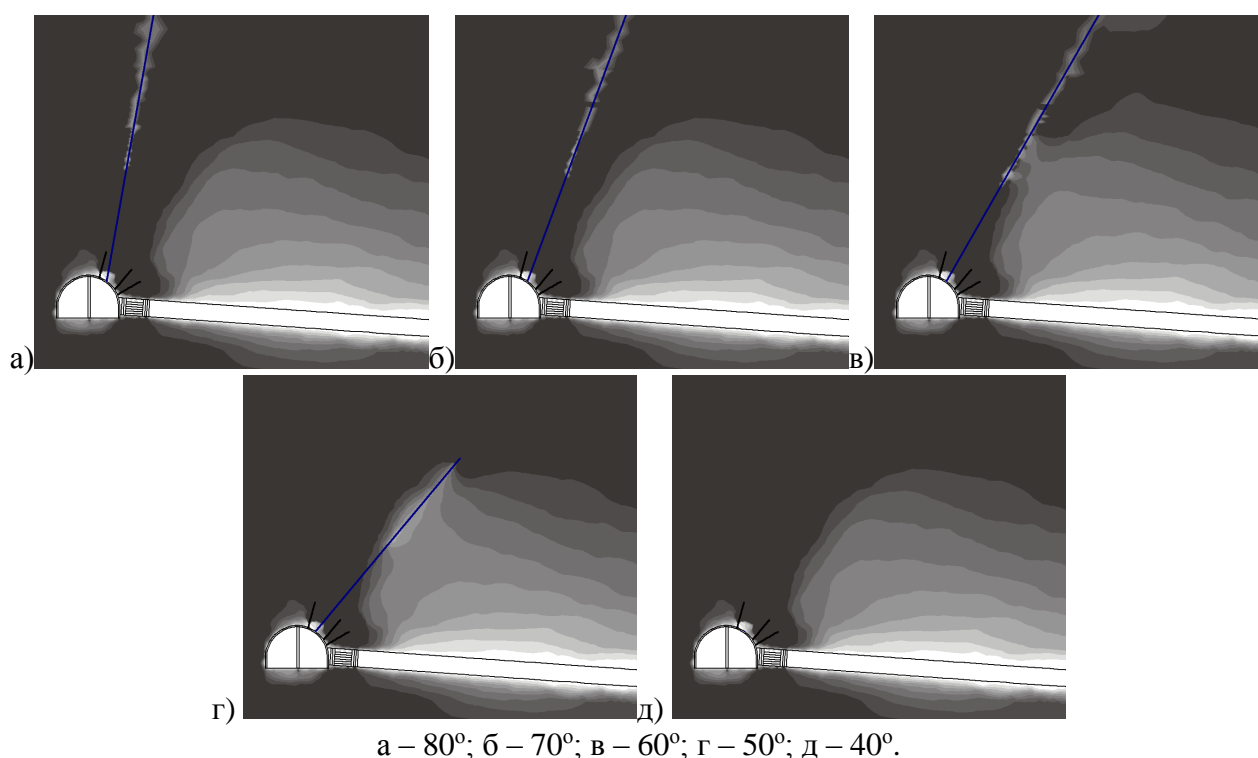


Рисунок 9 – Относительное давление метана при различных углах наклона дегазационной скважины

На рис. 10 показан дебит метана в скважине в зависимости от угла ее наклона для пятого варианта применения охранных конструкций.

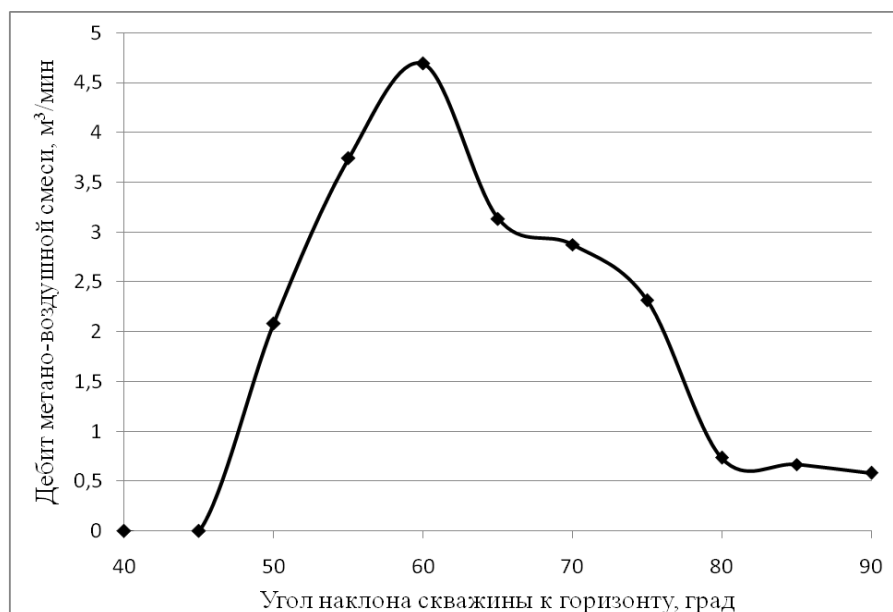


Рисунок 10 – Дебит метано-воздушной смеси в зависимости от угла наклона дегазационной скважины

График на рис. 10 можно условно разделить на несколько частей.

1. Промежуток $80-90^\circ$ – скважина находится за пределами области фильтрации, окружающей выработанное пространство, дебит метана минимален.

2. $65-80^\circ$ – зона повышенной трещиноватости вокруг выработанного пространства. Положение скважины устойчивое, она находится на безопасном расстоянии от зоны неупругих деформаций. Общая область фильтрации связывает источники метановыделения, расположенные в кровле, и фильтрующую часть скважины. Дебит метана достаточно высок.

3. Угол наклона – 60° . Дегазационная скважина находится на самой границе зоны неупругих деформаций. При этом угле наклона дебит метана достигает максимума (для рассматриваемых горно-геологических условий). Однако, гарантировать высокую надежность работы скважины в этой области горного массива нельзя.

4. $40-60^\circ$ – скважина в зоне неупругих деформаций. Видно, что при каждом уменьшении угла ее наклона на 5° все меньшая ее часть остается в работоспособном состоянии, и дебит метана постепенно снижается до $0 \text{ м}^3/\text{мин}$.

Выводы. Без использования охранных конструкций дегазационные скважины при их подработке разрушаются и прекращают работу. Использование стойки, ремонтны, костра приводит к небольшому сокращению области разрушения – работа скважины № 1 восстановлена. При дальнейшем усилении охранных конструкций дебит метана в двух

дегазационных скважинах возрастает до 5,16 м³/мин (стойка, бутокостер, 2 ряда органной крепи, чурбаковая переемычка).

Дебит метана в дегазационной скважине минимален при ее расположении за пределами области фильтрации, окружающей выработанное пространство; стабилен и составляет 60 % от максимума в зоне повышенной трещиноватости; достигает наибольших значений на границе с зоной неупругих деформаций и падает до 0 при дальнейшем уменьшении угла наклона над горизонтом.

Эффективность дегазации кровли скважинами при применении костров составляет 12,7 %; костров и 2 рядов органной крепи – 54,2 %; бутокостров и 2 рядов органной крепи – 62,6 %; бутокостров, 2 рядов органной крепи и чурбаковой переемычки – 70,1 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кочерга, В.Н. Эффективность комплексной дегазации выемочных участков на шахте «Краснолиманская» / В.Н.Кочерга, И.В. Сытник, Г.С. Левчинский // Уголь Украины, 2014. – № 11. – С. 26-31.
2. Круковский, А.П. Влияние способа охраны выемочного штрека на устойчивость дегазационных скважин / А.П. Круковский, В.В. Круковская, В.Н. Кочерга // Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. тр. / ИГТМ НАН Украины. – Днепропетровск, 2015. – № 124. – С. 16-31.
3. Баренблатт, Г.И. Движение жидкостей и газов в природных пластах / Г.И. Баренблатт, В.М. Ентов, В.М. Рыжик. – М.: Недра, 1984. – 208 с.
4. Numerical modeling of stress-dependent permeability / M. Bai, F. Meng, D. Elsworth et al.: ISRM International Symposium 36th U.S. Rock Mechanics Symposium / International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, 1997. – № 34:3-4. – P. 2.e1-2.e14.
5. Permeability characterization for modeling methane flow in coal seams. / S. Durucan, T.S. Daltaban, J.Q. Shi, L. Foley // Proceedings of the International Coalbed Methane Symposium. – Tuscaloosa, Alabama. – 1993. – P. 453-460.
6. Круковська, В.В. Розробка методу розрахунку параметрів процесу фільтрації метану з урахуванням напружено-деформованого стану вуглепородного масиву, що підробляється: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.15.11 / В.В. Круковська. – Дніпропетровськ, 2006. – 20 с.
7. Малышев, Ю.Н. Фундаментально-прикладные методы решения проблем метана угольных пластов / Ю.Н. Малышев, К.Н. Трубецкой, А.Т. Айруни. – М.: Изд. Академии горных наук, 2000. – 519 с.
8. Zienkiewicz O.C. The finite element method / O.C. Zienkiewicz, R.L. Taylor. – Butterworth-Heinemann, 2000. – 690 p.
9. Фадеев А.Б. Метод конечных элементов в геомеханике / А.Б. Фадеев. – М. Недра, 1987. – 224 с.
10. Ferziger, J.H./ Computational methods for fluid dynamics / J.H. Ferziger. – London: Springer, 2002. – 423 p.

REFERENCES

1. Kocherga V.N., Syitnik I.V., and Levchinskiy G.S. (2014) „The efficiency of an integrated degassing blocks at the mine "Krasnolimanskaya"», *Ugol Ukrainy*, no. 11, pp. 26-31.
2. Krukovskiy, A.P., Krukovskaya and V.V. Kocherga, V.N. (2015), «Effect of the gate road protection method for stability degasification wells», *Geo-Technical Mechanics*, no. 124, pp. 16-31.
3. Barenblatt, G.I., Entov, V.M., Ryizhik, V.M. (1984) *Dvizhenie zhidkostey i gazov v prirodnyih plastah* [Movement of liquids and gases in natural seams], Nedra, Moscow, SU.
4. Bai, M., Meng, F., Elsworth, D. et al. (1997), Numerical modeling of stress-dependent permeability, ISRM International Symposium 36th U.S. Rock Mechanics Symposium, *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*, no. 34:3-4, pp. 2.e1-2.e14.
5. Durucan, S., Daltaban, T.S., Shi, J.Q. and Foley, L. (1993), «Permeability characterization for modeling methane flow in coal seams», *Proceedings of the International Coalbed Methane Symposium*, Tuscaloosa, Alabama, pp. 453-460.
6. Krukovskaya, V.V. (2006), «Preparation method of calculation of methane filtration parameters with the account a mode of stressedly-deformed state of coal-rock mass», Abstract of Ph.D.Dissertation, Institute

of geotechnical mechanics by N.S. Poljakov of National science academy of Ukraine, Dnepropetrovsk, Ukraine.

7. Malyshev, Yu.N., Trubetskoy, K.N. and Ayruni, A.T. (2000), *Fundamentalno-prikladnyie metodyi resheniya problem metana ugolnyih plastov* [Fundamental-applied methods for solving the problems of coalbed methane], Academy of Mining Sciences, Moscow, RU.

8. Zienkiewicz, O.C. and Taylor, R.L.(2000), *The finite element method*, Butterworth-Heinemann.

9. Fadeev, A. B. (1987), *Metod konechnyih elementov v geomehanike* [The Finite Element Method in Geomechanics], Nedra, Moscow, SU.

10. Ferziger, J.H (2002), *Computational methods for fluid dynamics*, Springer, London.

Об авторах

Минеев Сергей Павлович, доктор технических наук, профессор, заведующий отделом управления динамическими проявлениями горного давления, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАН Украины), Днепропетровск, Украина, sergminee@gmail.com.

Круковская Виктория Викторовна, доктор технических наук, старший научный сотрудник, старший научный сотрудник отдела управления динамическими проявлениями горного давления, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАНУ), Днепропетровск, Украина, igtm@ukr.net.

Круковский Александр Петрович, доктор технических наук, старший научный сотрудник, заместитель директора института по научным вопросам, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАНУ), Днепропетровск, Украина, igtm@ua.fm.

Кочерга Виктор Николаевич, главный технолог отдела управления динамическими проявлениями горного давления, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАН Украины), Днепропетровск, Украина, igtm@ukr.net.

About the authors

Mineev Sergey Pavlovich, Doctor of Technical Sciences (D. Sc), Professor, M.S., head of department of Control of Dynamic Demonstrations of Rock Pressure, Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Sciences of Ukraine, (IGTM, NASU), Dnepropetrovsk, Ukraine, sergminee@gmail.com.

Krukovskaya Victoriya Victorovna, Doctor of Technical Sciences (D. Sc), Senior Researcher, Senior Researcher in Department of Control of Dynamic Demonstrations of Rock Pressure, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM, NASU), Dnepropetrovsk, Ukraine, igtm@ukr.net.

Krukovskiy Alexander Petrovich, Doctor of Technical Sciences (D. Sc), Senior Researcher, Deputy Director of the institute, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM, NASU), Dnepropetrovsk, Ukraine, igtm@ua.fm.

Kocherga Viktor Nikolayevich, Master of Science, Chief Technologist of Department of Pressure Dynamics Control in Rock, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM, NASU), Dnepropetrovsk, Ukraine, igtm@ukr.net.

Анотація. За допомогою методів чисельного моделювання проведено дослідження впливу способу охорони виїмкового штреку на процес фільтрації метану у вуглепородному масиві і ефективність роботи системи дегазаційних свердловин.

У статті наведено розподіли значень тиску метану і швидкостей його фільтрації у випадках, коли охоронні споруди не застосовуються і при чотирьох способах охорони виїмкового штреку. Показано, що без використання охоронних конструкцій дегазаційні свердловини при їх підробці руйнуються і припиняють роботу. Використання стійки, ремонтини, кострів призводить до відновлення роботи однієї свердловини. При подальшому посиленні охоронних конструкцій дебіт метану в двох дегазаційних свердловинах, а також ефективність дегазації покрівлі свердловинами значно зростають.

Також показано, що дебіт метану в дегазаційній свердловині мінімальний при її

розташуванні поза межами області фільтрації, що оточує вироблений простір; стабільний і становить 60% від максимуму в зоні підвищеної тріщинуватості; сягає максимальних значень на межі з зоною непружних деформацій і падає до 0 при подальшому зменшенні кута нахилу над горизонтом.

Ключові слова: фільтрація метану, виїмковий штрек, ефективність дегазації покрівлі свердловинами.

Abstract. Impact of gate road supporting method on the methane filtration process in the coal-rock massif and efficiency of the methane-drainage borehole system functioning were studied with the help of numerical simulation methods. In the article, distribution of methane pressures and rates of methane filtrations are shown with no and with four different supports. It is shown that with no gate road supporting, methane-drainage boreholes, being undermined, are ruined and do not work any more. Such measures as props, scaffolds and timber cribs reset operation of one borehole. Further strengthening of supports provides essential increase of methane flow rate in two methane drainage boreholes and significant efficiency improvement of the roof degassing through the boreholes.

It is further shown that methane flow rate is: minimal in methane drainage borehole located outside the filtration area around the mined-out space; stable - 60% of the maximum value - in zone with high fracture pattern; and reaches the highest values on the border with the zone of inelastic deformation and drops down to 0 with further decrease of slope angle over the horizon.

Keywords: methane filtration, gate road support, efficiency of roof degassing by boreholes.

Статья поступила в редакцию 25.01.2016

Рекомендовано к печати д-ром техн. наук С.А. Курносовым