

УДК 622.831.332:551.24

Круковская В.В., д-р техн. наук, ст. науч. сотр.
(ИГТМ НАН Украины),
Молчанов А.Н., д-р техн. наук, ст. науч. сотр.,
Калугина Н.А., канд. техн. наук, ст. науч. сотр.
(ИФГП НАН Украины)

ОСОБЕННОСТИ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ФИЛЬТРАЦИИ МЕТАНА ВБЛИЗИ ТЕКТОНИЧЕСКИХ НАРУШЕНИЙ

Круковська В.В., д-р техн. наук, ст. наук. співр.
(ИГТМ НАН України),
Молчанов О.М., д-р техн. наук, ст. наук. співр.,
Калугіна Н.О., канд. техн. наук, ст. наук. співр.
(ИФГП НАН України)

ОСОБЛИВОСТІ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ФІЛЬТРАЦІЇ МЕТАНУ ПОБЛИЗУ ТЕКТОНІЧНИХ ПОРУШЕНЬ

Krukovskaya V.V., D.Sc. (Tech.), Senior Researcher
(IGTM of the NAS of Ukraine),
Molchanov A.N., D.Sc. (Tech.), Senior Researcher,
Kalugina N.A., Ph. D. (Tech.), Senior Researcher
(IPMP of the NAS of Ukraine)

ASPECTS OF MATHEMATICAL SIMULATION OF METHANE FILTRATION NEAR THE TECTONIC DISLOCATIONS

Аннотация. В статье рассмотрены вопросы изменения параметров фильтрации метана вблизи тектонических нарушений. Разработана математическая модель совместного протекания нестационарных связанных процессов упругопластического изменения напряженно-деформированного состояния трещиновато-пористой среды и фильтрации метана вокруг одиночной горной выработки в зоне тектонического нарушения. При этом учитывалось влияние соотношения компонент тензора главных напряжений на изменение проницаемости массива.

Приведены распределения значений давления метана вокруг горной выработки и графики изменения проницаемости угольного пласта в различные моменты времени вблизи тектонического нарушения и в ненарушенной зоне угольного пласта. Показано, что за пределами нарушенной зоны фильтрация метана протекает в квазистационарном режиме, развязывание динамических процессов не происходит. В нарушенной зоне угольного пласта газовыделение в выработку увеличивается в 1,5-6,7 раз по сравнению с газовыделением за пределами нарушенной зоны. Глубина области фильтрации метана возрастает со временем в случае, когда выработка проводится по ненарушенному угольному пласту; при динамическом протекании геомеханических и фильтрационных процессов вблизи тектонических нарушений глубина области фильтрации на фронте разрушения значительно сокращается и ее рост возобновляется только при возврате от динамического к квазистационарному режиму фильтрации.

Ключевые слова: фильтрация метана, тектонические нарушения, газодинамический процесс.

Протекание фильтрационных, геомеханических, газодинамических процессов тесно связано с геологическими факторами, особенно наличием тектонических нарушений, обуславливающих изменение физико-механических свойств угля и вмещающих пород. Такие участки характеризуется повышенной нарушенностью, где угольное вещество имеет пониженную прочность. В результате внутрислоевых движений угольные пласты становятся рыхлыми, бесструктурными, иногда приобретают многопачечное строение. При прохождении этих участков горными выработками отмечается повышенное (в 1,5-2 раза) выделение метана в выработки [1]. Зоны тектонических нарушений опасны по внезапным выбросам угля и газа. Поэтому исследование процесса фильтрации метана вблизи тектонических нарушений имеет большое значение для научного обоснования параметров различных способов предотвращения газодинамических явлений, повышения эффективности и безопасности угледобычи. Одним из методов исследования является имитационное компьютерное моделирование физических процессов, основанное на численном решении системы уравнений, которые описывают данное явление [2-4].

Цель работы – с использованием методов математического моделирования установить закономерности протекания нестационарных фильтрационных процессов, происходящих в забое горной выработки вблизи тектонических нарушений.

Уравнение неразрывности газового потока в плоской постановке при наличии источника газовыделения – сорбированного метана – можно представить в виде [5]

$$\frac{\partial p}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(k_x \frac{\partial p}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k_y \frac{\partial p}{\partial y} \right) + q(t).$$

где p – давление газа, МПа; k_x , k_y – коэффициенты проницаемости твердого тела, мДа; $q(t)$ – функция газовыделения.

В окрестности тектонических нарушений уголь перемят, на 10-20 м по обе стороны от нарушения имеет начальную проницаемость. В результате проведения горной выработки перераспределяется поле начальных напряжений, во вмещающем массиве формируются системы трещин. На поле начальной, тектонической, проницаемости $K_{тект}$ накладывается поле технологической проницаемости $K_{техн}$, которая определенным образом [6] зависит от компонент тензора главных напряжений $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$:

$$K = K_{тект}(x, y) + K_{техн}(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3).$$

Поэтому для расчета поля технологической проницаемости необходимо знать значения компонент тензора напряжений в каждой точке исследуемой области, и полная система уравнений, описывающая нестационарное поведение двухфазной среды «трещиновато-пористое твердое тело – газ» в тектонически нарушенной зоне, будет выглядеть следующим образом [7, 8]:

$$\sigma_{ij,j} + X_i(t) + T_i(t) + P_i(t) = \rho_s \left(\frac{\partial^2 u_i}{\partial t^2} \right);$$

$$\frac{\partial p}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(k_x \frac{\partial p}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k_y \frac{\partial p}{\partial y} \right) + q(t);$$

$$k = k_{\text{мехн}}(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3) + k_{\text{мект}},$$

где $\sigma_{ij,j}$ – производные от компонент тензора напряжений по x, y , МПа/м; $X_i(t)$ – проекции внешних сил, действующих на единицу объема твердого тела, Н/м³; $T_i(t)$ – проекции сил, вызванных внутренним трением, действующих на единицу объема тела, Н/м³; $P_i(t)$ – проекции сил, обусловленных давлением газа в трещинно-поровом пространстве, Н/м³; ρ_s – плотность породы, кг/м³; u_i – перемещения, м.

Для математического описания процесса перехода горных пород в нарушенное состояние применяется условие прочности Кулона-Мора, которое учитывает возможность возникновения разрушения, как в результате сдвига, так и в результате отрыва [9, 10]. Начальные и граничные условия для поставленной задачи записываются в виде

$$\begin{aligned} \sigma_{yy}|_{t=0} &= \gamma H; & p|_{\Omega_1(t)} &= p_0; \\ \sigma_{xx}|_{t=0} &= \lambda \gamma H; & p|_{\Omega_2} &= 0,1 \text{ МПа}; \\ p|_{t=0} &= p_0; & u_x|_{\Omega_3} &= 0; \\ & & u_y|_{\Omega_4} &= 0, \end{aligned}$$

где γ – усредненный вес вышележащих горных пород, Н/м³; H – глубина разработки, м; λ – коэффициент бокового распора; p_0 – давление газа в нетронутом массиве, МПа; $\Omega_1(t)$ – изменяющаяся во времени граница области фильтрации; Ω_2 – внутренний контур (выработка); Ω_3 – вертикальные границы внешнего контура; Ω_4 – горизонтальные границы внешнего контура.

Чтобы получить решения этого дифференциального уравнения на определенном временном промежутке, применяется конечно-разностный метод.

Одним из необходимых условий математического моделирования связанных геомеханических и фильтрационных процессов вблизи тектонического нарушения является задание свойств угля в нарушенной зоне. Рассмотрим несколько различных способов задания физико-механических свойств угля и с помощью разработанной модели связанных процессов изменения НДС массива и фильтрации метана исследуем изменение параметров фильтрации метана в горную выработку в следующих случаях:

- 1) в ненарушенной зоне угольного пласта;
- 2) вблизи тектонического нарушения, в нарушенной зоне заданы условия –

сцепление угля C линейно уменьшается от границы нарушенной зоны к тектоническому нарушению, и прочность на растяжение $\sigma_p \sim 0$;

3) в нарушенной зоне заданы условия – сцепление угля C линейно уменьшается, а проницаемость k линейно возрастает от границы нарушенной зоны к тектоническому нарушению, прочность на растяжение $\sigma_p \sim 0$.

Рассмотрим случай, когда выработка подходит к сбросу с амплитудой 1 м, по угольному пласту мощностью 1,5 м, на глубине 1200 м. Газоносность угля – 20 м³/т, содержание метана в свободной форме – 10 %. Свойства пород, используемые при расчетах, представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Свойства вмещающих пород

Порода	Модуль упругости, E , МПа	Коэфф. Пуассона, μ	Сцепление, C , МПа	Угол внутр. трения, φ , °	Прочность на растяж., σ_p , МПа
Аргиллит	10^4	0,2	3,5	30	2
Уголь в ненаруш. части пласта	$5 \cdot 10^3$	0,2	1,75	30	1

За пределами нарушенной зоны, окружающей тектоническое нарушение давление метана в угольном пласте вблизи выработки понижается медленно (рис. 1).

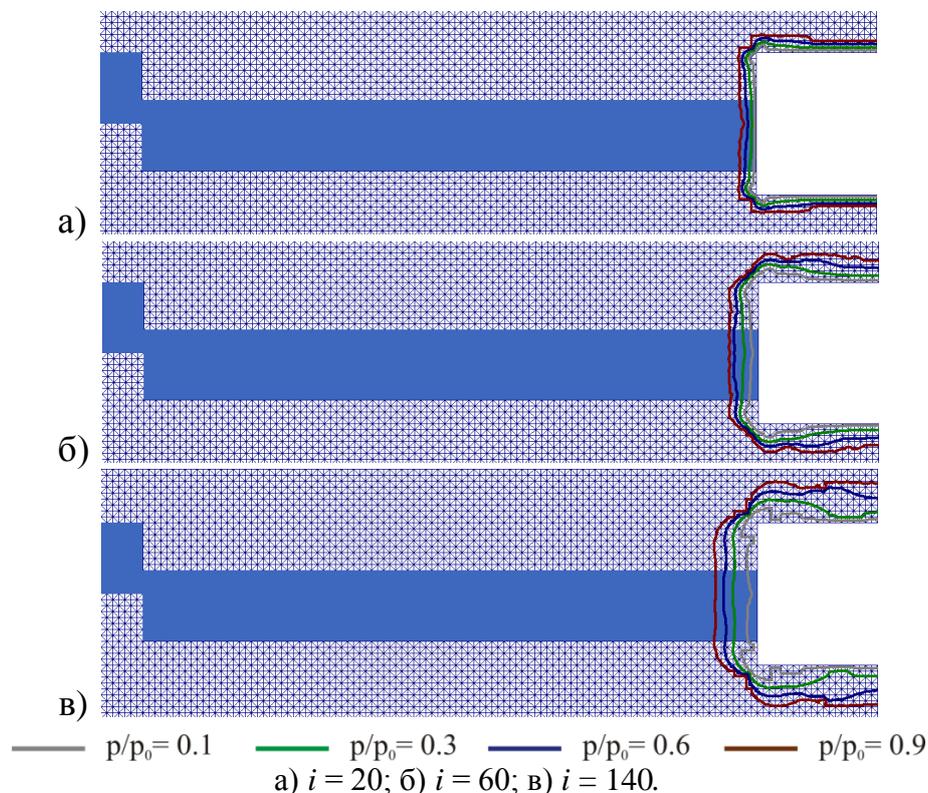


Рисунок 1 – Относительное давление метана (p/p_0) на различных временных итерациях i в ненарушенной зоне

Проницаемость приконтурного массива увеличивается равномерно, согласно изменению напряженно-деформированного состояния пород вокруг выработки, образования полости разрушения не происходит. Иными словами, все

процессы носят квазистационарный характер, динамических явлений не наблюдается.

Построим графики изменения давления метана и проницаемости угольного пласта в забое выработки, для этого из массива рассчитанных данных выберем значения интересующих нас параметров вдоль горизонтальной прямой, проходящей по центру угольного пласта. Давление метана в угольном пласте, рис. 2, со временем постепенно снижается, на каждой последующей итерации кривые изменения давления становятся все более пологими, градиенты давления метана постепенно уменьшаются. Глубина дегазации угольного пласта увеличивается с 0,3 м на 20-й итерации до 1,1 м на 160-й.

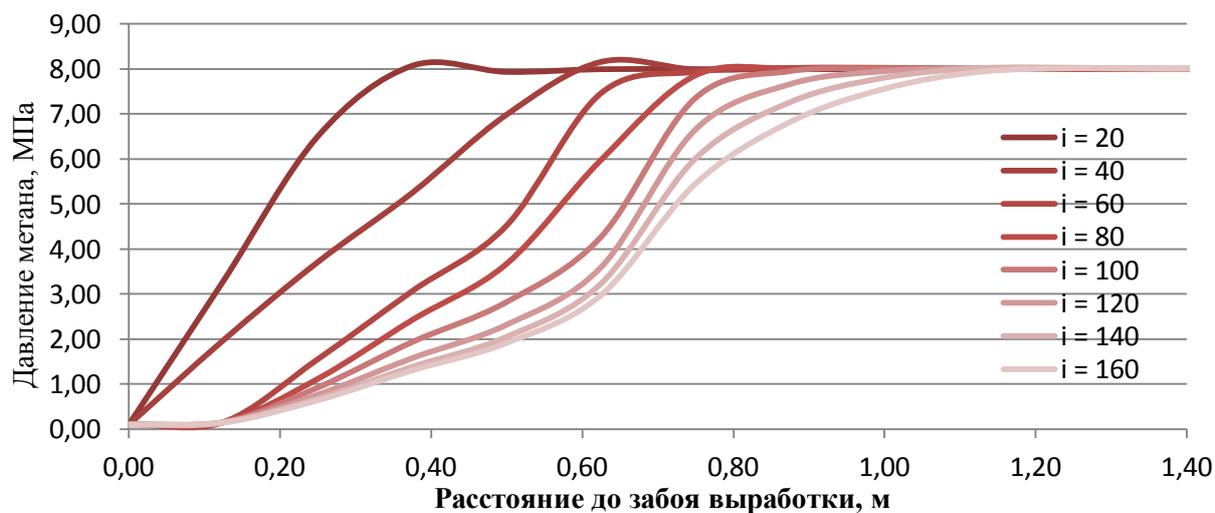


Рисунок 2 – Давление метана в различные моменты времени

Проницаемость угольного пласта, рис. 3, имеет максимальные значения вблизи поверхности забоя. Видно, что в начальный момент времени глубина области фильтрации по угольному пласту составляла около 0,35 м. Постепенно увеличиваясь, к 160-й временной итерации она достигла 1,2 м.

Вблизи тектонического нарушения, когда нарушенная зона моделируется изменением физико-механических свойств угля C и σ_p , наблюдается иное, чем в предыдущем случае, течение рассматриваемых связанных процессов, рис. 4.

Давление метана в угольном пласте вблизи выработки быстро падает, градиенты давления и скорость фильтрации метана принимают высокие значения, проницаемость угля стремительно растет – происходит вынос угля и образование полости в угольном пласте (рис. 4, а-в), длина которой достигает 2,25 м при данных горно-геологических, начальных и граничных условиях.

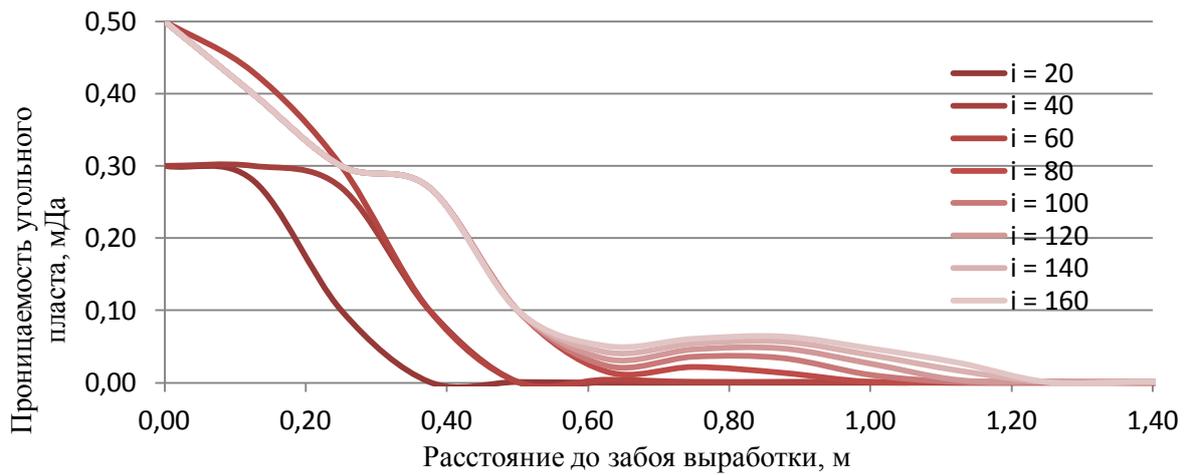


Рисунок 3 – Проницаемость угольного пласта в различные моменты времени

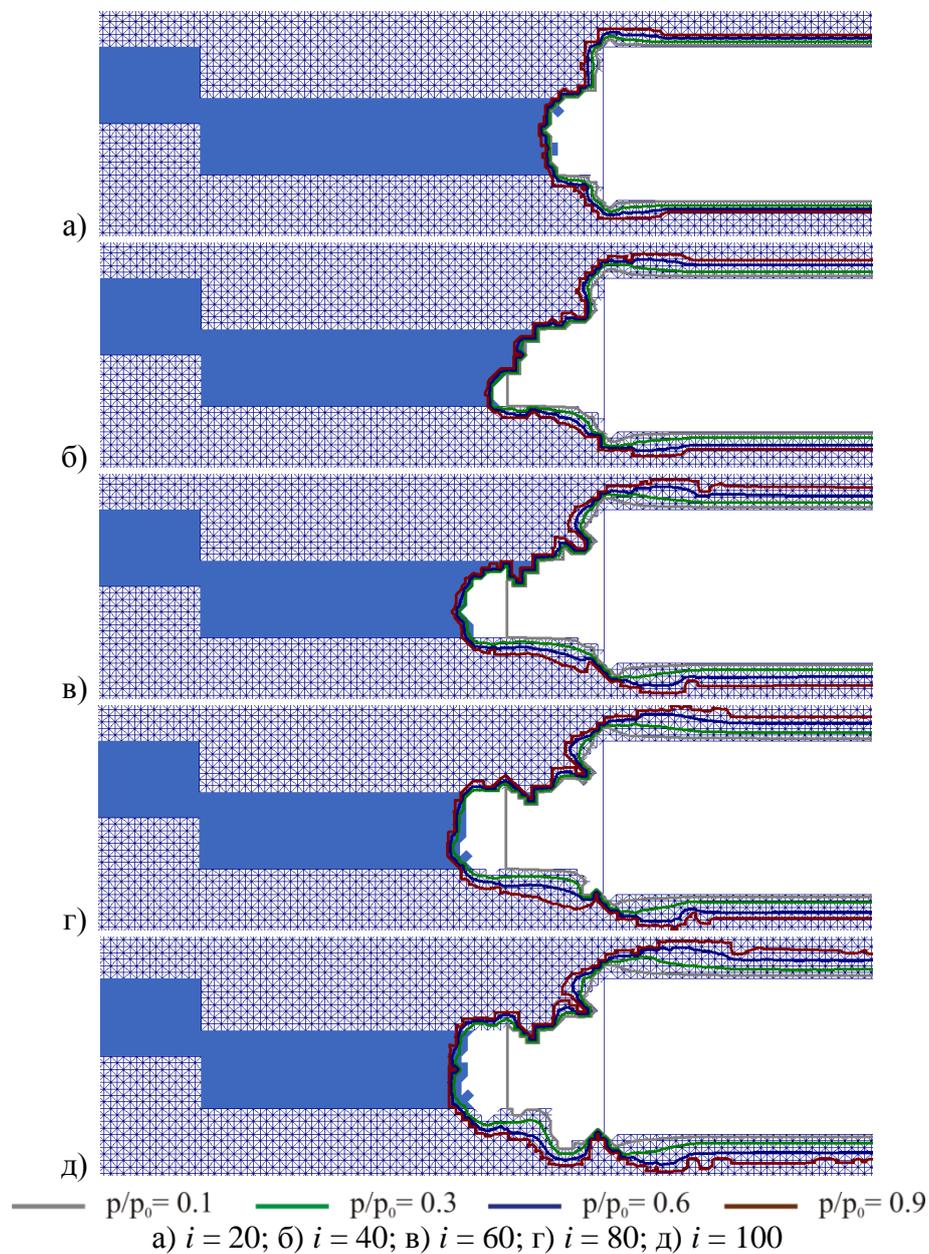


Рисунок 4 – Относительное давление метана, рост полости разрушения в нарушенной зоне с измененными физико-механическими свойствами угля

Затем рост полости останавливается (рис. 4, г, д), скорости фильтрации метана на фронте разрушения падают, давление метана в угольном пласте продолжает медленно снижаться – геомеханические процессы и процесс фильтрации газа возвращаются к квазистационарному режиму. Иными словами, при подходе забоя выработки к нарушенной зоне вблизи тектонического нарушения, в которой заданы условия (2), развивается процесс выброса угля и метана. Время протекания динамического процесса – 60 временных итераций, что примерно соответствует 6 с реального времени.

Давление метана в угольном пласте на фронте разрушения, рис. 5, со временем постепенно снижается, градиенты давления метана постепенно уменьшаются. Глубина области фильтрации угольного пласта на фронте разрушения находится в пределах 0,2-0,3 м.

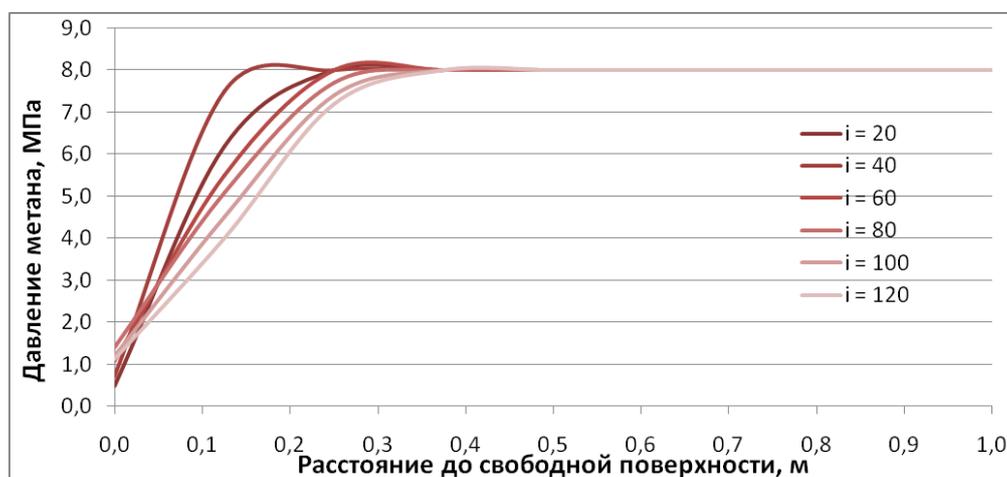


Рисунок 5 – Давление метана в нарушенной зоне с измененными физико-механическими свойствами угля

Глубина области расслоения (повышенной проницаемости) по угольному пласту, если измерять ее от движущейся во времени свободной поверхности полости разрушения, рис. 6, составляет около 0,25 м и остается практически неизменной на протяжении рассматриваемого периода протекания газодинамического явления.

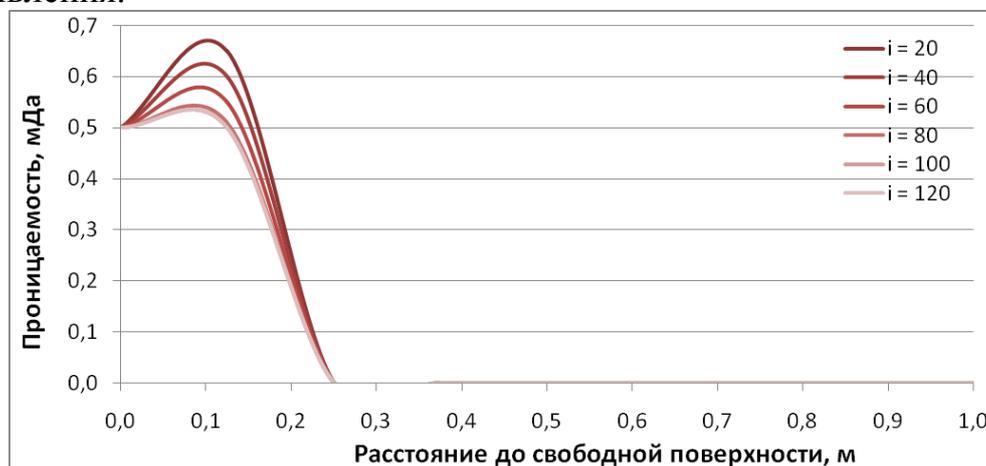


Рисунок 6 – Проницаемость в нарушенной зоне с измененными физико-механическими свойствами угля

При подходе забоя выработки к нарушенной зоне, в которой заданы условия (3), также развивается процесс выброса угля и метана, рис. 7. Время протекания динамического процесса – 110 временных итераций, что примерно соответствует 11 с реального времени. В течение этого времени давление метана в угольном пласте вблизи выработки быстро падает, градиенты давления и скорость течения метана принимают очень высокие значения, проницаемость угля стремительно растет – происходит вынос угля и образование полости в угольном пласте (рис. 7, а-д), длина которой достигает 6,75 м при данных горно-геологических, начальных и граничных условиях.

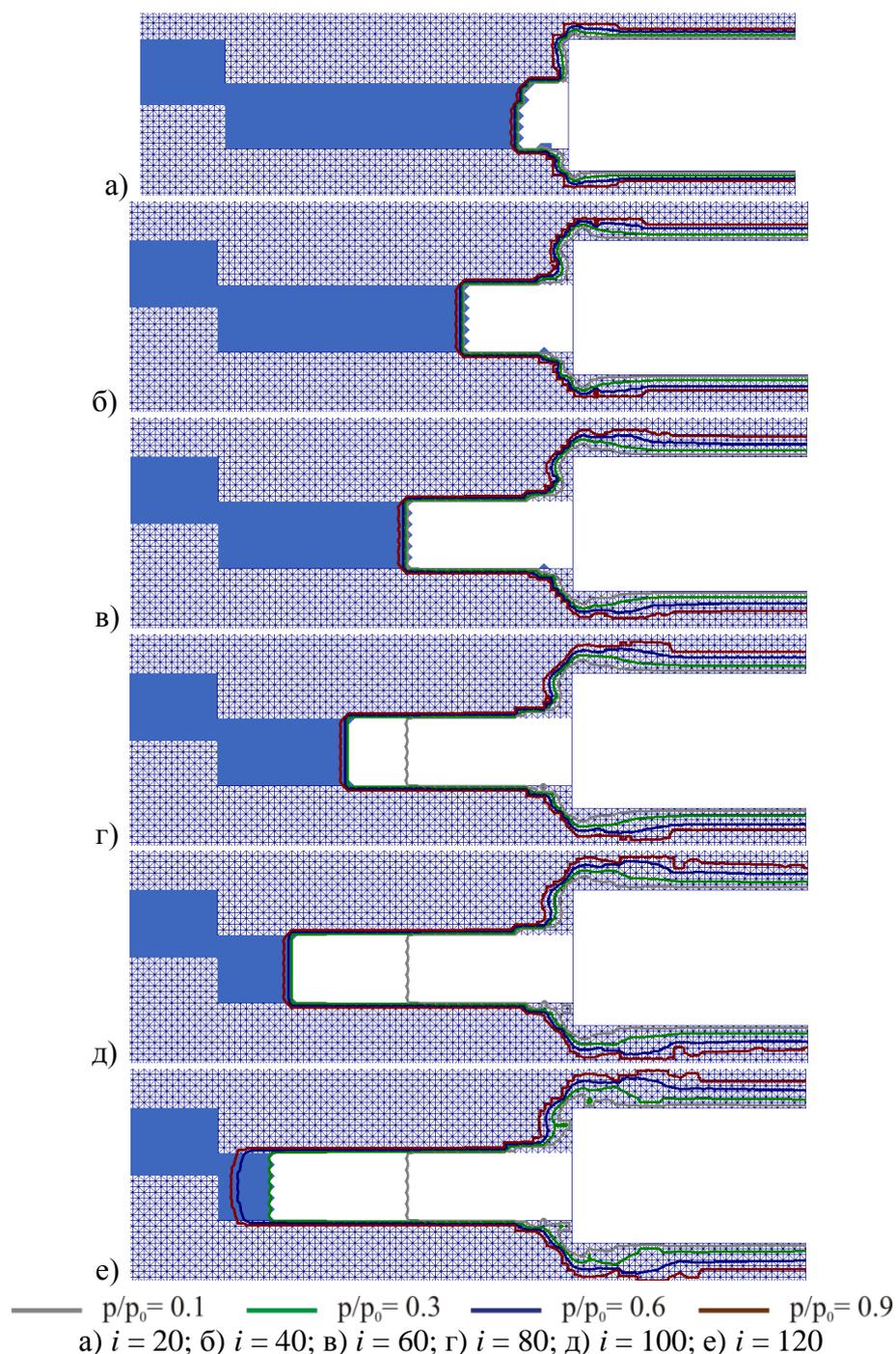


Рисунок 7 – Относительное давление метана, рост полости разрушения

Затем рост полости останавливается (рис. 7, е), скорости фильтрации метана на фронте разрушения падают, давление метана в угольном пласте продолжает медленно снижаться – геомеханические процессы и процесс фильтрации газа возвращаются к квазистационарному режиму. Иными словами, при подходе забоя выработки к нарушенной зоне вблизи тектонического нарушения, в которой заданы условия (3), развивается процесс выброса угля и метана. На первых секундах происходит инициация выброса; в интервале 2-10 с – собственно процесс выброса, на 10-11 с – его затухание.

Построим графики изменения давления метана в трещинно-поровом пространстве и проницаемости угольного пласта, выбрав из соответствующего массива рассчитанных данных значения этих параметров вдоль горизонтальной прямой, проходящей по центру угольного пласта. Давление метана в угольном пласте, рис. 8, со временем постепенно снижается, на каждой последующей итерации кривые изменения давления все более пологими, градиенты давления метана постепенно уменьшаются.

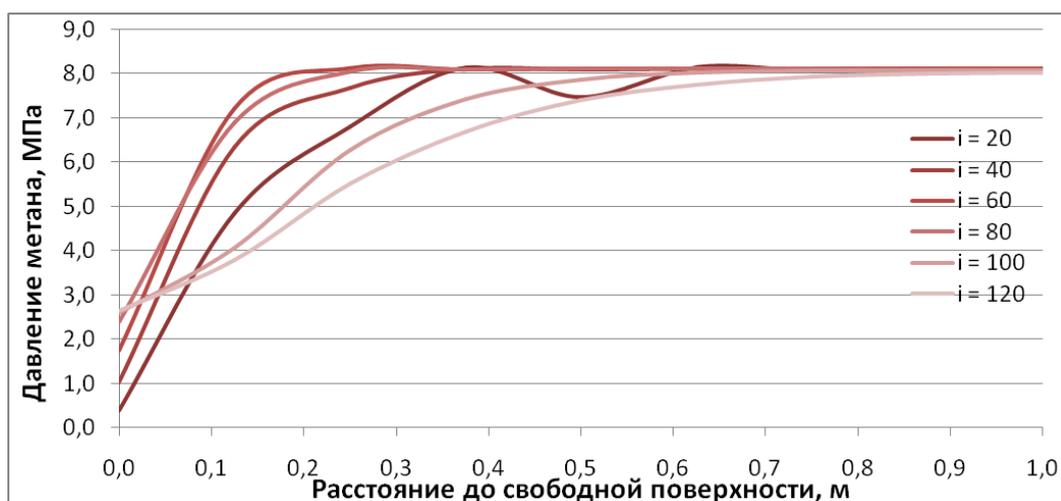


Рисунок 8 – Давление метана в нарушенной зоне угольного пласта

Глубина области фильтрации угольного пласта на фронте разрушения увеличивается с 0,2 м на 20-й итерации до 0,7 м на 120-й. В этом случае ее глубина и в 1,5 раза меньше, чем при стационарном режиме протекания фильтрационных процессов.

Глубина области расслоения (повышенной проницаемости) по угольному пласту, если измерять ее от движущейся во времени свободной поверхности полости разрушения, рис. 9, составляет около 0,25 м и остается практически неизменной на протяжении рассматриваемого периода протекания газодинамического явления.

Сравним глубину области фильтрации, рис. 10, и количество выделившегося в атмосферу выработки метана, рис. 11, вдоль горизонтальной прямой, проходящей по центру угольного пласта в рассмотренных трех случаях.

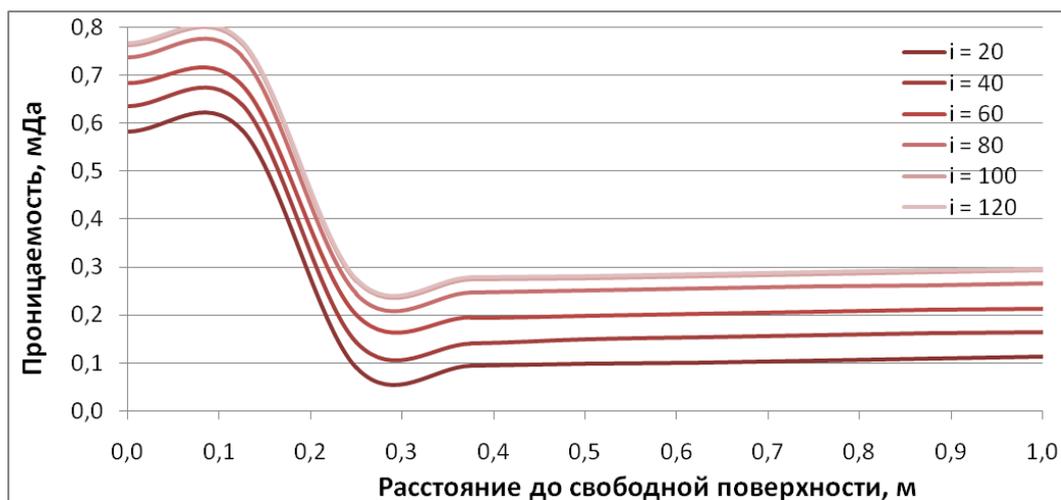


Рисунок 9 – Проницаемость в нарушенной зоне угольного пласта

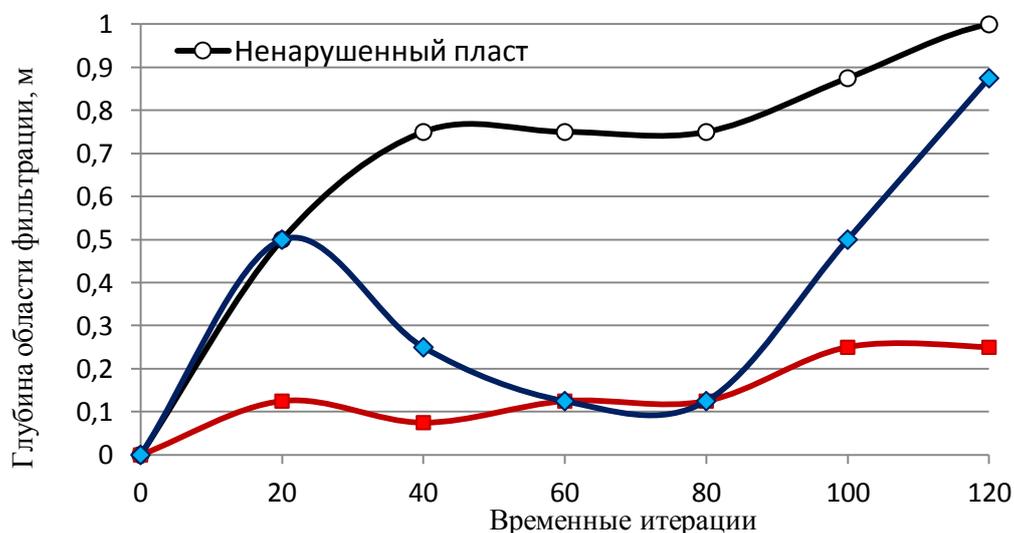


Рисунок 10 – Глубина области фильтрации в центральной части угольного пласта

Как видно из графиков, глубина области фильтрации метана практически равномерно возрастает в случае, когда выработка проводится по ненарушенному угольному пласту и когда протекание геомеханических и фильтрационных процессов носит квазистационарный характер. При динамическом протекании рассмотренных процессов, когда забой выработки находится в нарушенной зоне угольного пласта, где изменены его физико-механические свойства, мы наблюдаем после роста глубины области фильтрации в начальный период времени ($i < 20$) ее сокращение в период основной стадии процесса выброса. Затем, при затухании газодинамического процесса, размеры области фильтрации метана опять начинают увеличиваться.

Объем выделившегося в выработку газа в ненарушенной зоне заметно отличается от значений этого показателя в остальных двух случаях. То есть, в зоне тектонического нарушения с заданными физико-механическими свойствами, газовыделение в выработку увеличивается в 1,5-6,7 раз в различные моменты времени, рис. 11.

Полученные данные подтверждаются исследованиями сотрудников инсти-

тута горного дела им. А.А. Скочинского [1] относительно повышения в 1,5-2 раза выделения метана в выработки при прохождении участков, приуроченных к тектоническим нарушениям.

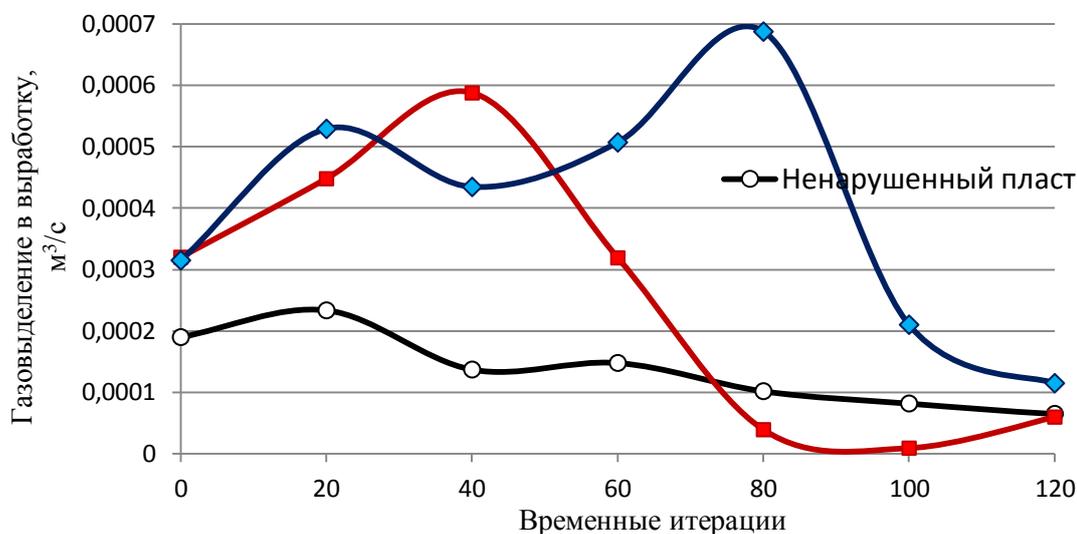


Рисунок 11 – Газовыделение в выработку в ненарушенной зоне и вблизи тектонического нарушения

Выводы. В результате проведения серии вычислительных экспериментов, в которых одиночная горная выработка проводится по ненарушенному угольному пласту и вблизи тектонического нарушения, показано, что за пределами нарушенной зоны фильтрация метана протекает в квазистационарном режиме, развязывание динамических процессов не происходит; газовыделение в выработку увеличивается в 1,5-6,7 раз в нарушенной зоне угольного пласта по сравнению с газовыделением за пределами нарушенной зоны; глубина области фильтрации метана практически равномерно возрастает со временем в случае, когда выработка проводится по ненарушенному угольному пласту; при динамическом протекании геомеханических и фильтрационных процессов вблизи тектонических нарушений глубина области фильтрации на фронте разрушения значительно сокращается и ее рост возобновляется только при возврате от динамического к квазистационарному режиму фильтрации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бодня, Г.В. Особенности тектонических зон, опасных по внезапным выбросам угля и газа / Г.В. Бодня // Вопросы вентиляции и борьбы с газом и внезапными выбросами в угольных шахтах: науч. сообщ. – М. : / Ин-т горного дела им. А.А. Скочинского, 1977. – С. 88-92.
2. Numerical simulation for propagation characteristics of shock wave and gas flow induced by outburst intensity / A. Zhou, K. Wang, L. Wang and other // International Journal of Mining Science and Technology. – 2015. – № 25. – P. 107-112.
3. Numerical Analyses of the Major Parameters Affecting the Initiation of Outbursts of Coal and Gas / X. Sheng, Y. Liang, W. Yucang, X. Jun // Rock Mechanics and Rock Engineering. – 2014. – № 47. – P. 1505-1510.
4. Numerical investigation of coal and gas outbursts in underground collieries / T. Xu, C.A. Tang, T.H. Yang and other // International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences.– 2006. – № 43. – P. 905-919.
5. Зенкевич, О. Метод конечных элементов в технике / О. Зенкевич. – М.: Мир, 1975. – 542 с.

6. Круковская, В.В. Разработка метода расчета параметров процесса фильтрации метана с учетом напряженно-деформированного состояния подрабатываемого угленосного массива: дис. ... канд. техн. наук : 05.15.11 : защищена 3.11.06 : утв. 14.12.06 / Круковская Виктория Викторовна. – Днепропетровск, 2006. – 134 с.
7. Лукинов, В.В. Моделирование процесса выброса угля и метана вблизи тектонических нарушений / В.В. Лукинов, А.П. Круковский, В.В. Круковская // Форум гірників-2007: Матеріали міжнародної конференції. – Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2007. – С. 63-69.
8. Круковская, В.В. Компьютерное моделирование процесса выброса угля и метана вблизи тектонических нарушений различных типов / В.В. Круковская, А.П. Круковский // Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. тр. / ИГТМ НАН Украины. – Днепропетровск, 2008. – № 80. – С. 238-250.
9. Виноградов, В.В. Геомеханика управления состоянием массива вблизи горных выработок / Виноградов В.В. – К.: Наукова думка, 1989. – 192 с.
10. On Rock Failure Criteria for Coal Measure Rocks / M. Gadde, J. Rusnak, J. Honse, S. Peng // Proceedings of the 26 International Conference on Ground Control in Mining. – Morgantown: WV, 2007. – P. 361-369.

REFERENCES

1. Bodnya, G.V. (1977), “Singularities of the tectonic zones, prone to sudden outbursts of coal and gas”, *Voprosy ventilyatsii i borby s gazom i vnezapnymi vyibrosami v ugolnyih shahtah*, pp. 88-92.
2. Zhou, A., Wang, K., Wang, L. and other (2015), “Numerical Simulation for Propagation Characteristics of Shock Wave and Gas Flow Induced by Outburst Intensity”, *International Journal of Mining Science and Technology*, no.25, pp. 107-112.
3. Sheng, X., Liang, Y., Yucang, W. and Jun, X. (2014), “Numerical Analyses of the Major Parameters Affecting the Initiation of Outbursts of Coal and Gas”, *Rock Mechanics and Rock Engineering*, no. 47, pp. 1505-1510.
4. Xu, T., Tang, C.A., Yang, T.H. and other (2006), “Numerical Investigation of Coal and Gas Outbursts in Underground Collieries”, *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*, no. 43, pp. 905-919.
5. Zenkevich, O. (1975), *Metod konechnykh elementov v tekhnike* [The finite element method in the technique], Mir, Moscow, USSR.
6. Krukovskaya, V.V. (2006), *Razrabotka metoda rascheta parametrov protsesssa filtratsii metana s uchetom napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya podrabatyvayemogo ugleporodnogo massiva* [Preparation method of calculation of methane filtration parameters with the account a mode of stressedly-deformed state of coal-rock mass], Institute of geotechnical mechanics by N.S.Poljakov of National science academy of Ukraine, Dnepropetrovsk, Ukraine.
7. Lukinov, V.V., Krukovskiy, A.P., Krukovskaya, V.V. (2007) “Simulation of coal and methane outburst near the tectonic disturbances”, *Proc. The International scientific conference “Forum of Mining Engineers-2007”*, National Mining University, Dnepropetrovsk, pp. 63-69.
8. Krukovskaya V.V., Krukovskiy A.P. (2008), “The simulation of the coal and methane outburst near tectonic faults of different types”, *Geo-Technical Mechanics*, no. 80, pp. 238-250.
9. Vinogradov, V.V. (1989) *Geomekhanika upravleniya sostoyaniem massiva vblizi gornykh vyrabotok* [Geomechanics Of The Massif State Control Near The Mine Workings], Naukova dumka, Kiev, USSR.
10. Gadde, M., Rusnak, J., Honse, J., Peng, S. (2007), “On Rock Failure Criteria for Coal Measure Rocks”, Proceedings of the 26 International Conference on Ground Control in Mining, Morgantown: WV, pp. 361-369.

Об авторах

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@ua.fm.

Молчанов Александр Николаевич, доктор технических наук, старший научный сотрудник, заместитель директора института, Институт физики горных процессов Национальной академии наук Украины (ИФГП НАНУ), Днепропетровск, Украина, molchanov@nas.gov.ua.

Калугина Надежда Александровна, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, ученый секретарь института, Институт физики горных процессов Национальной академии наук Украины (ИФГП НАНУ), Днепропетровск, Украина molchanov@nas.gov.ua.

About the authors

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.

Molchanov Aleksandr Nikolaevich, Doctor of Technical Sciences (D. Sc.), Deputy Director of the institute, Institute of Physics of mining processes (IPMP NAS of Ukraine), Dnepropetrovsk, Ukraine, molchanov@nas.gov.ua.

Kalugina Nadezhda Aleksandrovna, Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Senior Researcher, Scientific Secretary of the institute, Institute of Physics of mining processes (IPMP NAS of Ukraine), Dnepropetrovsk, Ukraine, molchanov@nas.gov.ua.

Анотація. У статті розглянуті питання зміни параметрів фільтрації метану поблизу тектонічних порушень. Розроблено математичну модель спільного перебігу нестационарних зв'язаних процесів пружно-пластичної зміни напружено-деформованого стану тріщинувато-пористого середовища та фільтрації метану навколо одиночної гірничої виробки в зоні тектонічного порушення. При цьому враховувався вплив співвідношення компонент тензора головних напружень на зміну проникності масиву.

Наведено розподіли значень тиску метану навколо гірничої виробки і графіки зміни проникності вугільного пласта в різні моменти часу поблизу тектонічного порушення і в непорушеній зоні вугільного пласта. Показано, що за межами порушеної зони фільтрація метану протікає в квазістационарному режимі, розв'язування динамічних процесів не відбувається. В порушеній зоні вугільного пласта газовиділення у виробку збільшується в 1,5-6,7 разів в порівнянні з газовиділенням поза межами порушеної зони. Глибина області фільтрації метану зростає з часом у випадку, коли виробка проводиться по непорушеному вугільному пласту; при динамічному протіканні геомеханічних і фільтраційних процесів поблизу тектонічних порушень глибина області фільтрації на фронті руйнування значно скорочується і її зростання поновлюється тільки при поверненні від динамічного до квазістационарного режиму фільтрації.

Ключові слова: фільтрація метану, тектонічні порушення, газодинамічний процес.

Abstract. Issues of methane filtration parameters changing near the tectonic disturbances are considered in the article. A mathematical model was designed for simulating joint behaviour of the non-stationary coupled processes of elastoplastic stress-strain state changing in the fractured-porous medium and methane filtration around a single roadway in the tectonic disturbance zone. Effect of a ratio between the principal stress tensor components on rock permeability changing was taken into account.

Distributions of values of methane pressure around the roadway and graphs of the coal seam permeability are shown in different time points near tectonic dislocation and non-disturbed zone in the coal seam. It is stated that methane filtration occurs in a quasi-stationary mode outside the broken area, and dynamic process are not further developed. In a disturbed zone of the coal seam, gas emission into the roadway increases by 1,5-6,7 times if compare with the gas emission outside the disturbed zone. Depth of methane filtration area increases with time when the roadway is advanced through the undisturbed coal seam; when geomechanical and filtration processes are developed dynamically near the tectonic dislocations depth of filtration area at the front of destruction significantly reduces; the depth continues to grow only after returning back from dynamic mode to the quasi-stationary mode of filtration.

Keywords: methane filtration, tectonic dislocations, gas-dynamic processes.

Статья поступила в редакцию 09.09.2015

Рекомендовано к публикации д-ром технических наук Минеевым С.П.