

Круковская В.В., д-р техн. наук, ст. науч. сотр.
(ИГТМ НАН Украины)

**О ФОРМЕ ПОЛОСТИ ВЫБРОСА В ЗАБОЕ ГОРНОЙ ВЫРАБОТКИ,
ПРОВОДИМОЙ ПО ВЫБРОСООПАСНОМУ УГОЛЬНОМУ ПЛАСТУ**

Круковська В.В., д-р техн. наук, ст. наук. співр.
(ИГТМ НАН України)

**ПРО ФОРМУ ПОРОЖНИНИ ВИКИДУ У ВИБОЇ ГІРНИЧОЇ ВИРОБКИ,
ЯКУ ПРОВОДЯТЬ ПО ВИКИДОНЕБЕЗПЕЧНОМУ ВУГІЛЬНОМУ
ПЛАСТУ**

Krukovskaya V.V., D.Sc. (Tech.), Senior Researcher
(IGTM NAS of Ukraine)

**ABOUT FORM OF OUTBURST CAVITY IN MINE WORKING AT
ROADHEADING BY OUTBURST COAL SEAM**

Аннотация. С использованием методов математического моделирования исследованы особенности формирования полости разрушения при газодинамических явлениях, происходящих в забое горной выработки вблизи тектонических нарушений. Путем сравнения расчетных и фактических данных относительно формы полости выброса проведена верификация разработанной математической модели совместного протекания нестационарных связанных процессов упругопластического деформирования трещиновато-пористой среды и фильтрации метана.

В статье приведены распределения значений геомеханических и фильтрационных параметров в нарушенной зоне угольного пласта в различные моменты времени протекания ГДЯ. Рассмотрены различные варианты распределения физико-механических свойств пород кровли угольного пласта. Показано, что в случае крепких, ненарушенных вмещающих пород полость выброса располагается в пределах угольного пласта; вертикальное сечение полости разрушения имеет прямоугольную форму с выгнутой торцевой частью, горизонтальное – форму неправильного эллипса. В случае, когда физико-механические свойства вмещающих пород так же, как и свойства угля, ослаблены вблизи тектонического нарушения, во время ГДЯ происходит их разрушение и вынос породы вместе с углем из образующейся полости.

Ключевые слова: моделирование связанных процессов, газодинамический процесс, форма полости разрушения, тектонические нарушения.

Современные методы имитационного численного моделирования позволяют создавать виртуальные модели обширных участков горного массива со всем разнообразием его литологического состава и физико-механических свойств каждого породного слоя. Позволяют задать начальную пористость и проницаемость пород, наполнить трещинно-поровое пространство газом; прорезать в этом виртуальном массиве систему выработок и исследовать во времени взаимодействие геомеханических и фильтрационных полей [1-3]. Ранее на основе решения связанной системы дифференциальных уравнений упругопластического деформирования породного массива и нестационарной фильтрации метана была разработана численная модель развязывания и протекания газодинамических явлений [4-6].

Важнейшим этапом создания сложных моделей связанных физических процессов является их детальная верификация. Что касается упомянутой модели протекания газодинамического процесса, была выполнена верификация как отдельных составляющих ее модулей (расчет изменения НДС и расчет параметров нестационарной фильтрации метана), так и всей модели в целом. Проверка адекватности разработанной модели фильтрации газа в нарушенной области осуществлялась путем сравнения расчетных данных по газовыделению в скважину с аналитическими решениями [7], по распределению давления газа вокруг скважины и изменению давления в подрабатываемом угольном пропластке – с экспериментальными данными [7]. Изменение НДС массива сопоставлялось с данными по смещениям контура выработок. Верификация модели связанных геомеханических и фильтрационных процессов была выполнена путем сравнения расчетных параметров и шахтных данных относительно деления процесса выброса угля и метана на стадии, условий затухания процесса выброса угля и газа [8], размеров полости выброса и количества выброшенного угля [8]. В данной работе будет проведен еще и анализ формы полостей разрушения, полученных расчетным путем, при изменении физико-механических свойств вмещающих пород в зоне влияния тектонического нарушения.

Цель работы – с использованием методов математического моделирования исследовать некоторые особенности формирования полости разрушения при ГДЯ, происходящих на пологих угольных пластах средней мощности, в забое горной выработки вблизи тектонических нарушений и сравнить результаты расчетов с фактическими данными.

Постановка задачи. Уравнение неразрывности газового потока в плоской постановке при наличии источника газовой выделению – сорбированного метана – можно представить в виде [9]:

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

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

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 $K_{\text{тект}}$ накладывается поле технологической проницаемости $K_{\text{техн}}$, которая определенным образом [7] зависит от компонент тензора главных напряжений $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$:

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

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 [4, 5]:

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

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

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

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 [10, 11]. Начальные и граничные условия для поставленной задачи записываются в виде:

$$\sigma_{yy}|_{t=0} = \gamma H;$$

$$\sigma_{xx}|_{t=0} = \lambda \gamma H;$$

$$p|_{t=0} = p_0;$$

$$p|_{\Omega_1(t)} = p_0;$$

$$p|_{\Omega_2} = 0,1 \text{ МПа};$$

$$u_x|_{\Omega_3} = 0;$$

$$u_y|_{\Omega_4} = 0,$$

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 решение этого дифференциального уравнения на определенном временном промежутке, применяется конечно-разностный метод.

Будем рассматривать случаи, когда мощность угольного пласта меньше высоты выработки. Пусть забой выработки высотой 3 м находится на расстоянии 7,75 м от тектонического нарушения «сброс» с амплитудой смещения 1 м, окруженного десятиметровой зоной перемятого угля. Мощность угольного пласта 1,5 м, глубина проведения выработки – 1000 м. Газоносность угля – 20 м³/т, содержание метана в свободной форме – 10 %. Свойства угля в нарушенной зоне вблизи тектонического нарушения: сцепление C линейно уменьшается, а проницаемость k линейно возрастает от границы нарушенной зоны к тектоническому нарушению, прочность на растяжение $\sigma_p \approx 0$.

Условиями образования полости выброса считаются:

1) принадлежность конечного элемента области неупругих деформаций, вызванных растягивающими напряжениями;

2) выполнение критерия превышения градиентом фильтрации метана критического значения $grad p > C_1$.

Выброс угля и газа в забое горной выработки, проводимой по пологому угольному пласту. Свойства пород, используемые при расчетах, представлены в табл. 1. При выполнении расчета получим распределение значений параметра $Q = (\sigma_1 - \sigma_3)/\gamma H$, отражающего разнокомпонентность поля напряжений, в различные моменты времени и относительное давление метана в вертикальном сечении вдоль выработки, рис. 1, и в горизонтальном сечении по центру угольного пласта, рис. 2.

Таблица 1 – Свойства вмещающих пород за пределами тектонически нарушенной зоны

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	10	30	2
Уголь	$5 \cdot 10^3$	0,2	5	30	1

Вблизи тектонического нарушения, в зоне нарушенного угольного пласта, область повышенной разнокомпонентности стремительно продвигается вглубь массива. Зона неупругих деформаций, в данном случае практически совпадающая с полостью разрушения, быстро растет от забоя выработки по угольному пласту. Давление метана в угольном пласте вблизи выработки быстро падает, градиенты давления и скорость фильтрации метана принимают очень высокие значения, проницаемость угля стремительно растет – происходит вынос угля и образование полости в угольном пласте, длина которой достигает 6,75 м при данных начальных и граничных условиях. Затем рост полости останавливается, скорости течения метана падают, давление метана в угольном пласте продолжает медленно снижаться – геомеханические процессы и процесс фильтрации

метана возвращаются к квазистационарному режиму. Время протекания динамического процесса – 10 с.

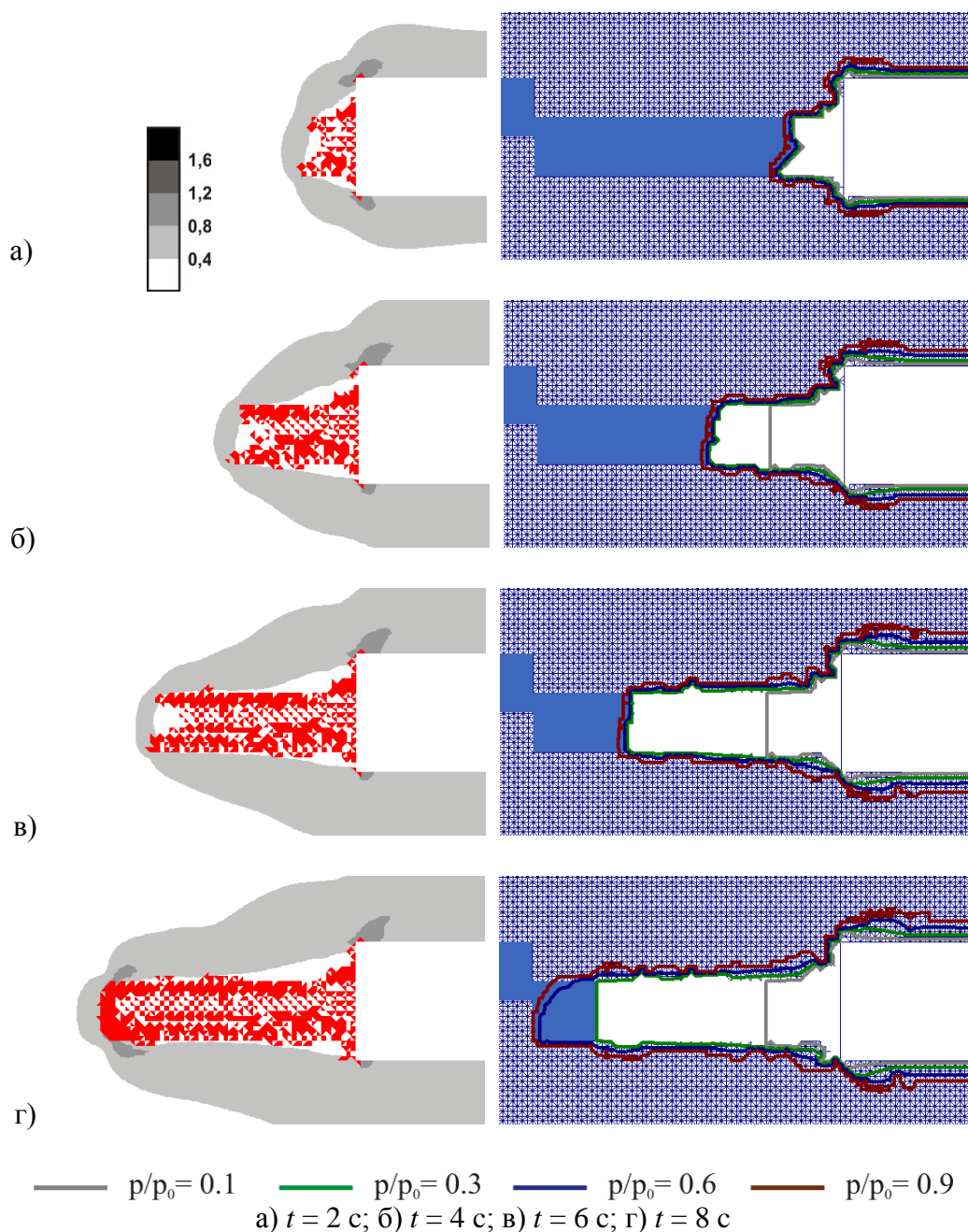


Рисунок 1 – Распределение значений параметра Q , зоны неупругих деформаций (слева), рост полости разрушения, относительное давление метана (справа) в выбросоопасной зоне вблизи тектонического нарушения. Вертикальное сечение

Как видно из рис. 1, полость разрушения располагается в пределах угольного пласта, сверху и снизу она ограничена вмещающими породами. Вертикальное сечение полости разрушения имеет прямоугольную форму, с выгнутой торцевой частью. В горизонтальном сечении форма полости разрушения также практически повторяет контур зоны неупругих деформаций, с более сглаженными границами, рис. 2. Она имеет форму неправильного эллипса, большая ось

котрого перпендикулярна осі виробтки.

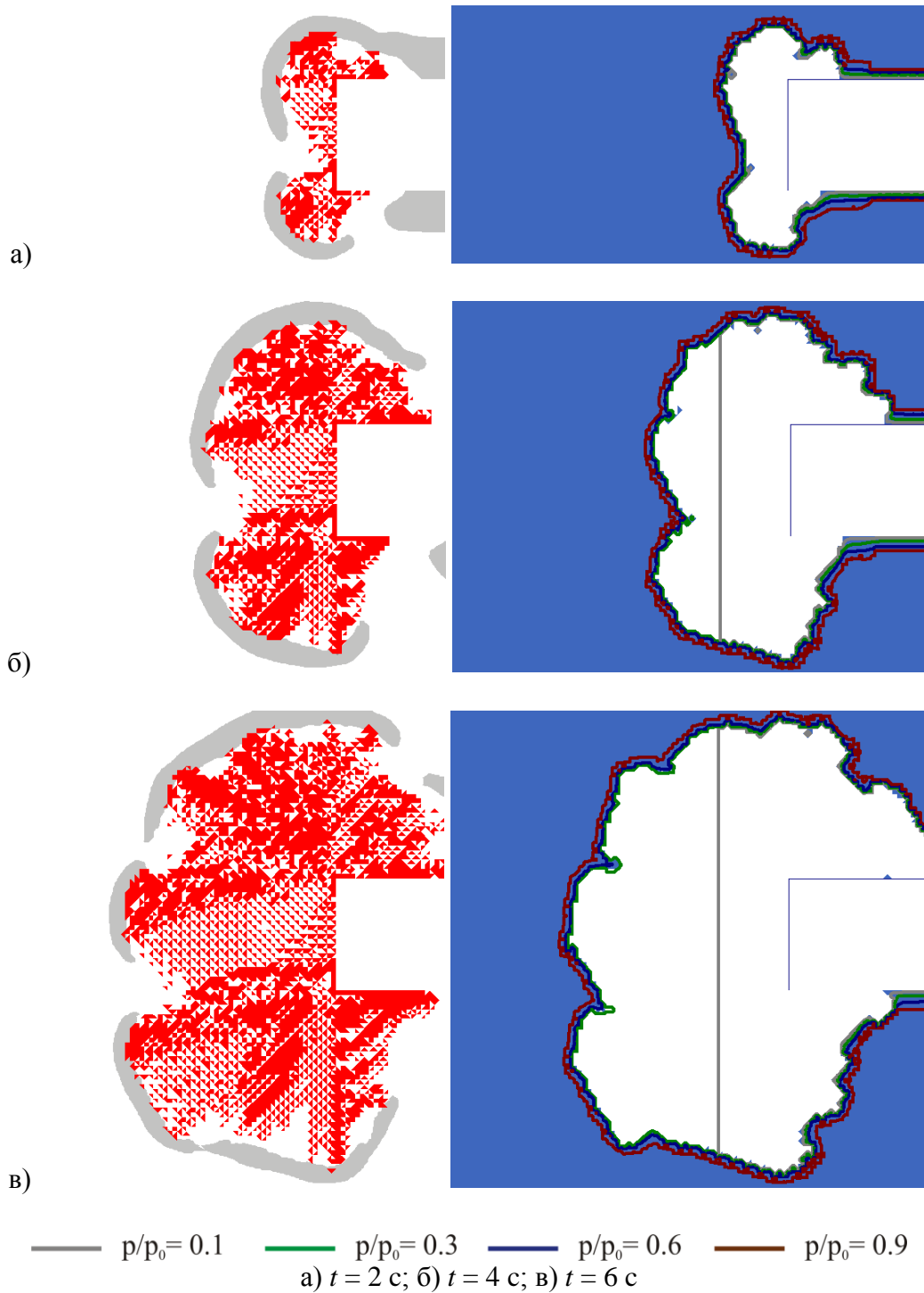


Рисунок 2 – Распределение значений параметра Q , зоны неупругих деформаций (слева), рост полости разрушения, относительное давление метана (справа). Горизонтальное сечение

Сравним полученные расчетные результаты по форме полости разрушения с фактическими данными.

22.02.1976 г. в 3 ч. 20 мин. в Вентиляционном ходке, горизонт 719 м, пласт h_8 – Прасковиевский, шахта «Глубокая» ПО «Донецкуголь», во время уборки горной массы после сотрясательного взрывания произошел внезапный выброс,

рис. 3. Интенсивность выброса – 60 т угля и 3000 м³ метана. При этом глубина полости разрушения составила 6 м, ширина – 15 м [12].

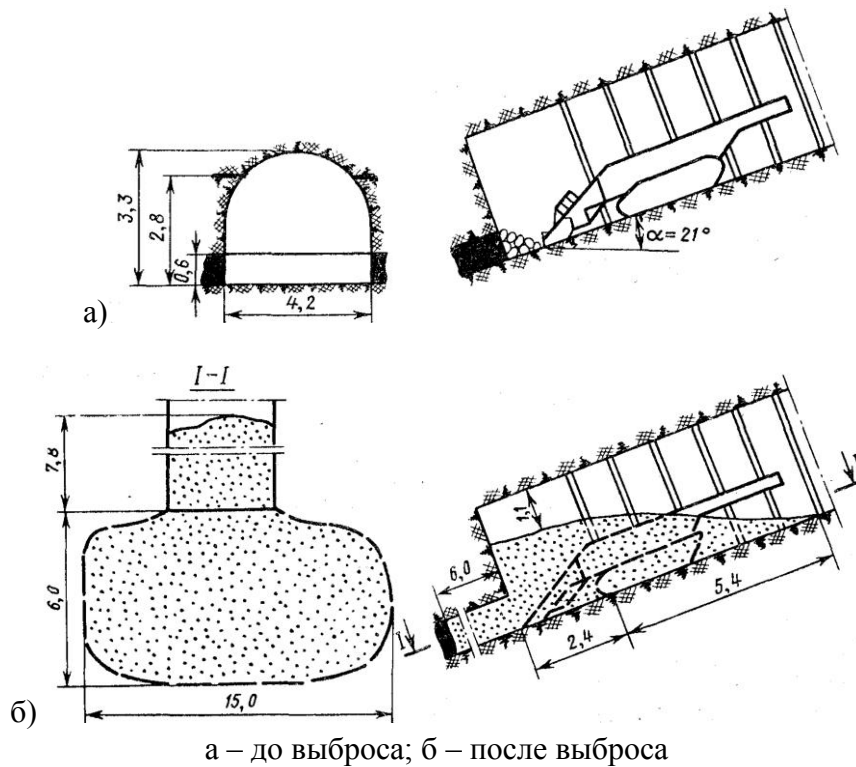


Рисунок 3 – Схема проведения выработки и размеры полости выброса в Вентиляционном ходке, шахта «Глубокая» [12]

4.10.1979 г. в 5 ч. 28 мин. в Южном вентиляционном штреке, горизонт 845 м, пласт Л₄ – Никанор, шахта им. В.Р. Менжинского ПО «Первомайск-уголь», во время выемки угля отбойным молотком, вблизи тектонического нарушения произошел внезапный выброс, рис. 4. Интенсивность выброса – 70 т угля и 5000 м³ метана [12].

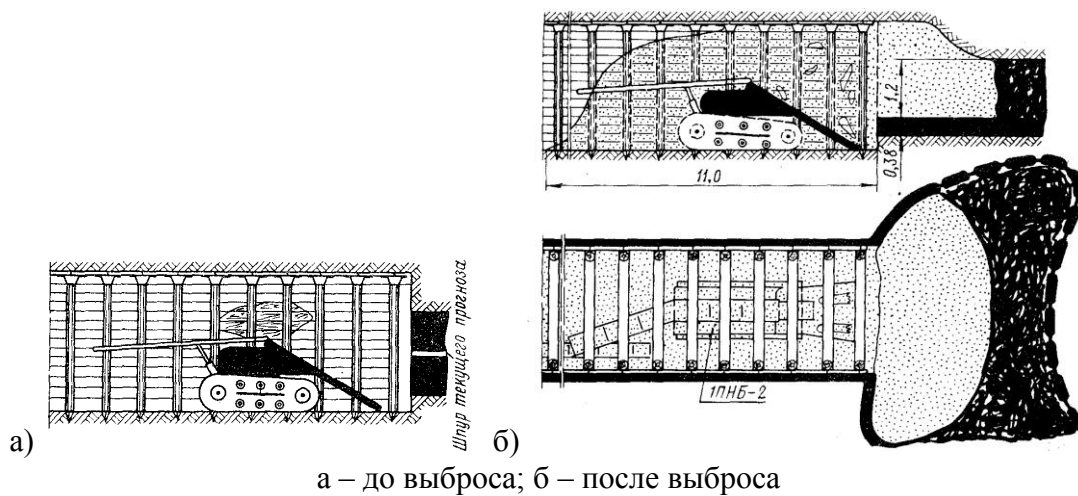


Рисунок 4 – Схема проведения выработки и размеры полости выброса в Южном вентиляционном штреке, шахта им. В.Р. Менжинского [12]

Таким образом, и расчетные и фактические данные говорят о том, что в рассмотренном случае полость выброса располагается в пределах угольного пласта, сверху и снизу она ограничена вмещающими породами. Вертикальное сечение полости разрушения имеет прямоугольную форму, возможно, с выгнутой торцевой частью, горизонтальное – форму неправильного эллипса, большая ось которого перпендикулярна оси выработки.

Сравнивая рис. 1, 2 и 3, 4, можно видеть, что в общем расчетная форма полости разрушения при газодинамических явлениях в пологом угольном пласте в забое горной выработки совпадает с фактическими данными.

Выброс угля и газа в забое горной выработки с разрушением вмещающих пород. Рассмотрим процесс выброса в случае, когда физико-механические свойства пород непосредственной кровли пласта так же, как и свойства угля, ослаблены вблизи тектонического нарушения. Например, сцепление C аргиллита в нарушенной зоне вокруг тектонического нарушения в 5 раз меньше, чем в ненарушенной ($C = C_0/5$), прочность на растяжение σ_p над угольным пластом – меньше в два раза ($\sigma_p = \sigma_{p0}/2$).

Распределение значений параметра Q и относительное давление метана в различные моменты времени в вертикальном сечении вдоль выработки показаны на рис. 5.

Видно, что в этом случае во время ГДЯ разрушается часть аргиллита над угольным пластом. Вблизи забоя высота полости разрушения становится равной высоте выработки, форма полости разрушения повторяет форму полости при выбросе в Южном вентиляционном штреке на шахте им. В.Р. Менжинского, рис. 4 б, вертикальное сечение.

Рассмотрим пример, когда изменение физико-механических свойств вмещающих пород носит другой характер: сцепление C аргиллита линейно уменьшается от границы нарушенной зоны к тектоническому нарушению, прочность на растяжение σ_p над угольным пластом в нарушенной зоне в два раза меньше, чем в ненарушенной. Распределение значений параметра Q и относительное давление метана в различные моменты времени в вертикальном сечении вдоль выработки для этого случая показаны на рис. 6.

При заданном характере изменения свойств аргиллита над угольным пластом он разрушается, образуя свод высотой до 0,95 м. В зависимости от мощности ослабленного породного слоя над угольным пластом высота полости разрушения для данных начальных и граничных условий находится в пределах от 2,15 до 2,45 м при мощности угольного пласта 1,5 м.

Результаты моделирования показали, что если физико-механические свойства вмещающих пород ослаблены вблизи тектонического нарушения, во время ГДЯ происходит их разрушение и вынос породы вместе с углем из образующейся полости.

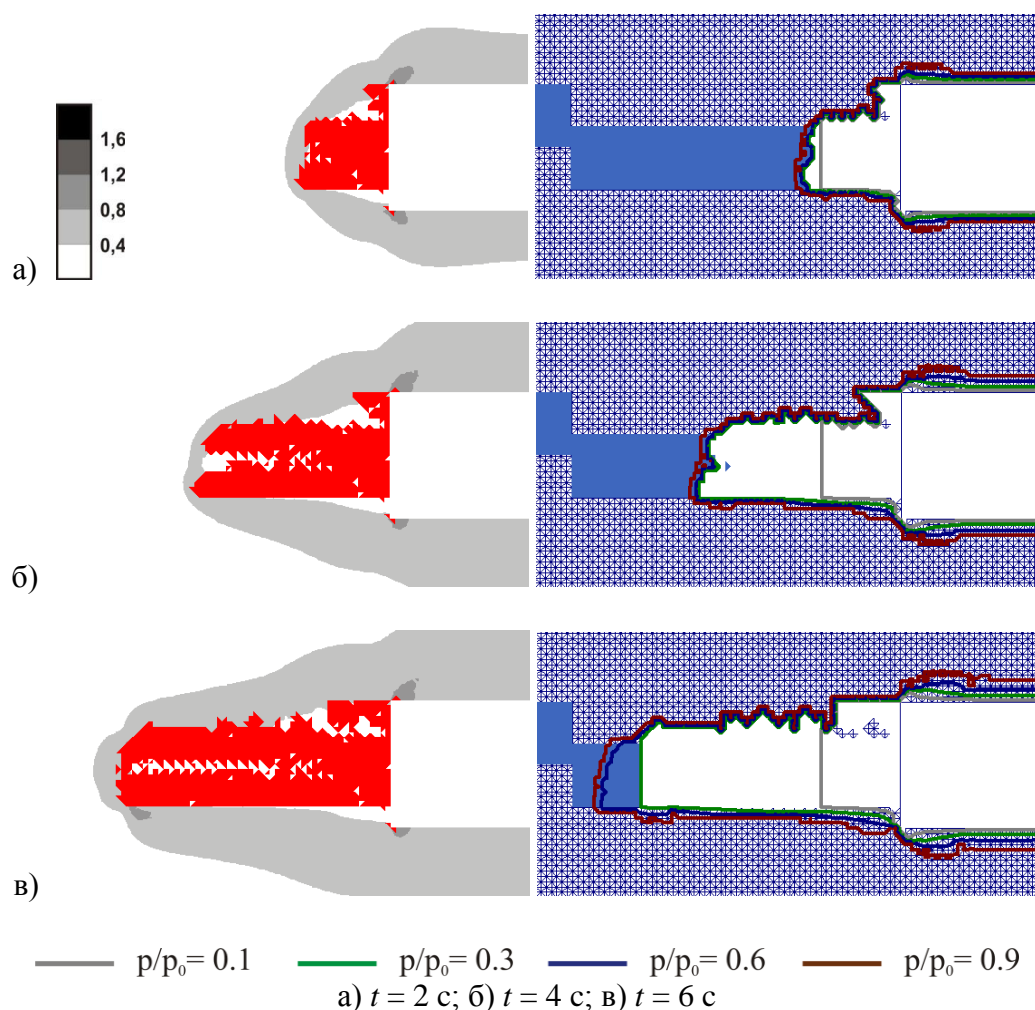


Рисунок 5 – Распределение значений параметра Q , зоны неупругих деформаций (слева), рост полости разрушения, относительное давление метана (справа) при ослаблении свойств вмещающих пород, $C = const$

При анализе статистических данных по выбросам, произошедшим на шахтах Донбасса в 1976-1987 г.г. [12], получим, что в забоях горных выработок на тонких и средней мощности пологих угольных пластах, за этот период произошло 37 выбросов. Данные по форме полости разрушения имеются не для всех этих случаев. По имеющимся данным, в вертикальном сечении полость выброса располагается в пределах пласта в 75 % случаев, захватывает вмещающие породы – в 25 %; в горизонтальном сечении полость выброса имеет форму неправильного овала в 58 %, определяется положением относительно тектонического нарушения и ограничена линией разрыва – в 32 % случаев.

Похожая ситуация наблюдалась в забое транспортного штрека панели №33 вблизи тектонического нарушения, (горизонт 1012 м, пласт M_8 – Макеевский, шахта им. В.М. Бажанова, ПО «Макеевуголь»). 19.01.1979 г. в 7 ч. 00 мин. во время зачистки нижней части пласта комбайном там произошел внезапный выброс, рис. 7. Интенсивность выброса – 80 т угля и 600 м³ метана. При этом глубина полости разрушения составила 5,8 м [12].

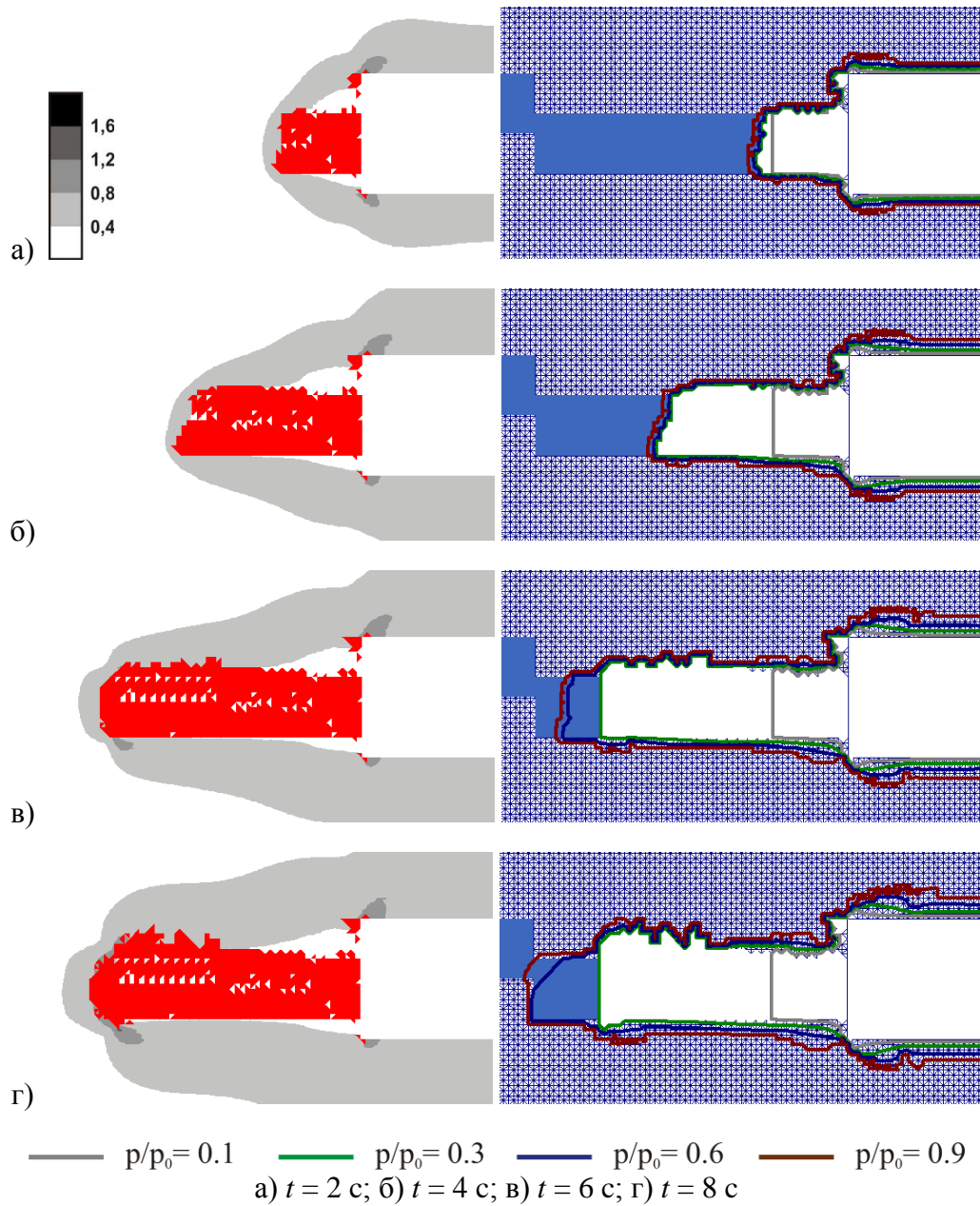
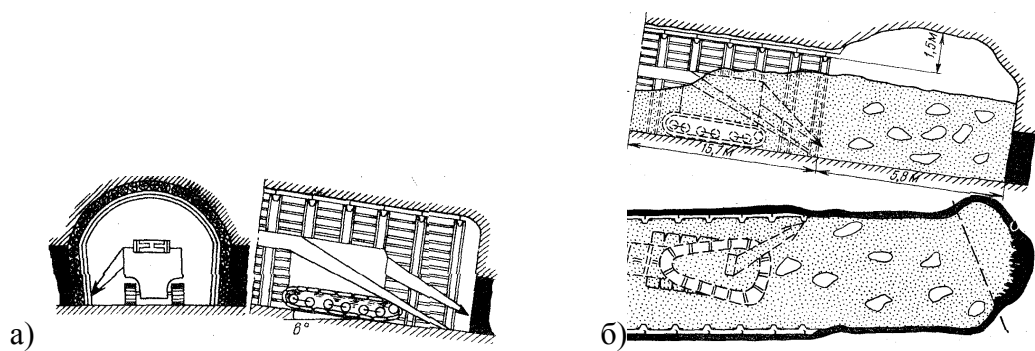


Рисунок 6 – Распределение значений параметра Q , зоны неупругих деформаций (слева), рост полости разрушения, относительное давление метана (справа) при ослаблении свойств вмещающих пород, $C = f(x)$



а – до выброса; б – после выброса

Рисунок 7 – Размеры полости выброса в забое транспортного штрека панели №33, шахта им. В.М. Бажанова [12]

Выводы. В результате проведения серии вычислительных экспериментов, в которых одиночная горная выработка проводится по пологому выбросоопасному угольному пласту вблизи тектонического нарушения, показано следующее.

1) Расчетная форма полости разрушения при газодинамических явлениях в забое горной выработки совпадает с фактическими данными, что подтверждает адекватность разработанной модели.

2) Форма и размеры полости разрушения при ГДЯ зависят не только от свойств угольного пласта, но и от физико-механических свойств вмещающих пород, которые также могут быть ослаблены в зоне влияния тектонических нарушений.

3) В случае крепких (ненарушенных) вмещающих пород полость выброса располагается в пределах угольного пласта, сверху и снизу она ограничена вмещающими породами. Вертикальное сечение полости разрушения имеет прямоугольную форму, возможно, с выгнутой торцевой частью, горизонтальное – форму неправильного эллипса, большая ось которого перпендикулярна оси выработки.

4) В случае, когда физ.-мех. свойства вмещающих пород так же, как и свойства угля, ослаблены вблизи тектонического нарушения, во время ГДЯ происходит их разрушение и вынос породы вместе с углем из образующейся полости, причем мощность нарушенного слоя и характер изменения его физ.-мех. свойств полностью определяют форму полости разрушения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Xue, S. A coupled DEM and LBM model for simulation of outbursts of coal and gas / S. Xue, L. Yuan., J. Wang et al. // *International Journal of Coal Science and Technology*, 2015. – № 2(1). – P. 22-29.
2. Zhou, A. Numerical simulation for propagation characteristics of shock wave and gas flow induced by outburst intensity/ A. Zhou, K. Wang, L. Wang et al. // *International Journal of Mining Science and Technology*, 2015. – № 25. – P. 107-112.
3. Paterson, L. A model for outbursts in coal / L. Paterson // *International Journal of Rock Mech. Min. Sci. & Geomech.*, 1986. – Vol. 23. – №4. – P. 327-332.
4. 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.
5. Круковская, В.В. Моделирование связанных процессов, происходящих в угленосном массиве при ведении горных работ / В.В. Круковская // *Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. тр. / ИГТМ НАН Украины*. – Днепропетровск, 2015. – № 121. – С. 48-99.
6. Круковский, А.П. Изучение параметров процесса выброса угля и газа с использованием компьютерного моделирования / А.П. Круковский, В.В. Круковская // *Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. тр. / ИГТМ НАН Украины*. – Днепропетровск, 2015. – № 122. – С. 100-109.
7. 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 / В.В. Круковская. – Днепропетровск, 2006. – 134 с.
8. Круковская, В.В. Развитие теории связанных процессов в применении к геомеханике угленосного массива: дис. ... докт. техн. наук: 05.15.09 / В.В. Круковская. – Днепропетровск, 2013. – 344 с.
9. Zienkiewicz, O.C. The finite element method / O.C. Zienkiewicz, R.L. Taylor. – Butterworth-Heinemann, 2000. – Т. 1. – 690 p.
10. Виноградов, В.В. Геомеханика управления состоянием массива вблизи горных выработок / Виноградов В.В. – К.: Наукова думка, 1989. – 192 с.
11. On Rock Failure Criteria for Coal Measure Rocks / M. Gadde, J. Rusnak, J. Honse, S. Peng // *Pro-*

ceedings of the 26 International Conference on Ground Control in Mining. – Morgantown: WV, 2007. – P. 361–369.

12. Каталог внезапных выбросов угля и газа на шахтах / ВНИИ Горн. геомеханики и маркшейд. дела, Укр. фил. – Л: ВНИИМ, 1989. – 195 с.

REFERENCES

1. Xue, S., Yuan, L., Wang, J. [and others] (2015), «A coupled DEM and LBM model for simulation of outbursts of coal and gas», *International Journal of Coal Science and Technology*, no. 2(1), pp. 22-29.

2. Zhou, A., Wang, K., Wang, L. [and others] (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. Paterson, L. (1986) «A model for outbursts in coal», *International Journal of Rock Mechanics Mining Science & Geomechanics*, vol. 23, no. 4, pp. 327-332.

4. Lukinov, V.V., Krukovskiy, A.P. and Krukovskaya, V.V. (2007), «Simulation of coal and methane outburst near the tectonic disturbances», *Forum gornikov-2007: Materiali mizhnarodnoyi konferentsiyi*, Dnepropetrovsk, UA, pp. 63-69.

5. Krukovskaya, V.V. (2015), «Simulation of coupled processes that occur in coal-rock massif during mining operations», *Geo-Technical Mechanics*, no. 121, pp. 48-99.

6. Krukovskiy A.P. and Krukovskaya V.V. (2015), «Changing the geomechanical parameters of gas-saturated coal-rock massif at the gas-dynamic phenomena», *Geo-Technical Mechanics*, no. 122, pp. 100-109.

7. 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», Ph.D. Thesis, 05.15.09, Institute of geotechnical mechanics by N.S. Poljakov of National science academy of Ukraine, Dnepropetrovsk, UA.

8. Krukovskaya, V.V. (20013), «The development of the coupled processes theory in the application to geomechanics of coal-rock massif», D.Sc. Thesis, Institute of geotechnical mechanics by N.S. Poljakov of National science academy of Ukraine, Dnepropetrovsk, UA.

9. Zienkiewicz, O.C. and Taylor, R.L. (2000), *The finite element method*, Butterworth-Heinemann, DE, vol. 1.

10. Vinogradov, V.V. (1989), *Geomekhanika upravleniya sostoyaniem massiva vblizi gornykh vyrabotok* [Geomechanics Of The Massif State Control Near The Mine Workings], Naukova dumka, Kiev, SU.

11. Gadde, M., Rusnak, J., Honse, J. and Peng, S. (2007), «On Rock Failure Criteria for Coal Measure Rocks», *Proceedings of the 26 International Conference on Ground Control in Mining*, Morgantown, WV.

12. *Katalog vnezapnykh vyibrosov uglya i gaza na shahtah* [Catalog of sudden coal and gas outbursts in mines] (1989), Research Institute of Mining Geomechanics and Mine Surveying, Ukrainian Branch, Lenin-grad, SU.

Об авторе

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.

About the author

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.

Анотація. З використанням методів математичного моделювання досліджено особливості формування порожнини руйнування при газодинамічних явищах, що відбуваються у вибої гірничої виробки поблизу тектонічних порушень. Шляхом порівняння розрахункових і фактичних даних щодо форми порожнини викиду проведена верифікація розробленої математичної моделі сумісного перебігу нестационарних зв'язаних процесів пружно-пластичної деформування тріщинувато-пористого середовища та фільтрації метану.

У статті наведено розподіли значень геомеханічних і фільтраційних параметрів в порушеній зоні вугільного пласта в різні моменти часу протікання ГДЯ. Розглянуто різні варіанти розподілу фізико-механічних властивостей порід покрівлі вугільного пласта. Показано, що в

разі міцних, непорушених порід, що вміщують виробку, порожнина викиду розташовується в межах вугільного пласта; вертикальний переріз порожнини руйнування має прямокутну форму з вигнутою торцевою частиною, горизонтальний – форму неправильного еліпсу. У разі, коли фізико-механічні властивості порід так само, як і властивості вугілля, ослаблені поблизу тектонічного порушення, під час ГДЯ відбувається їх руйнування і винос породи разом з вугіллям з утвореної порожнини.

Ключові слова: моделювання зв'язаних процесів, газодинамічний процес, форма порожнини руйнування, тектонічні порушення.

Abstract. Specific formation of destruction cavities at the gas-dynamic phenomena occurred in the tunnel face near the tectonic faults were studied with the help of mathematical simulation methods. The designed mathematical model of joint behaviour of nonstationary coupled processes of elasto-plastic deformation of porous fractured medium and methane filtration was verified by way of comparing calculated and factual data on the shape of the outburst cavity.

Distribution of geomechanical and filtration parameter values in a disturbed coal seam zone in different time points of the gas-dynamic phenomena are presented in the article. Different variants of physical and mechanical properties distribution in the coal seam roof rock are considered. It is shown that in case of strong, undisturbed surrounding rocks the outburst cavity is formed within the coal seam; vertical section of the outburst cavity has a rectangular shape with a curved end, and horizontal section has a shape of irregular ellipse. When physical and mechanical properties of surrounding rocks as well as the coal properties are weakened near the tectonic fault, then during the gas-dynamic phenomenon, the rocks are destructed and removed away from the generating cavity together with coal.

Keywords: coupled processes simulation, gas-dynamic processes, shape of the outburst cavity, tectonic faults.

Стаття поступила в редакцію 5.12.2015

Рекомендовано к печати д-ром техн. наук С.П. Минеевым