

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЫБРОСА УГЛЯ И ГАЗА
ПРИ БУРЕНИИ ОПЕРЕЖАЮЩИХ СКВАЖИН В ЗАБОЕ ВЫРАБОТКИ**

Моделювання процесу викиду вугілля та метану поблизу тектонічного диз'юнктивного порушення типу «зсув» під час буріння свердловини у вибої виробки з варіюванням довжини свердловини. Наведено результати чисельних розрахунків сумісних нестационарних задач геомеханіки і течії метану.

**MODELLING OF PROCESS OF COAL AND GAS OUTBURST AT
DRILLING OF ADVANCE WELLS IN THE MINE FACE**

Modeling of coal and methane outbursting process at drilling of advance wells in the mine face near tectonic disjunctive displacement with variation of well length. Results of numerical calculations non-stationary joint geomechanics and methane flow problems are represented.

Одним из способов предотвращения выбросов угля и газа в подготовительных и очистных выработках является бурение опережающих скважин [1]. Вокруг скважины впереди движущегося забоя под действием горного давления создается разгруженная и дегазированная область, размеры которой оцениваются условно как радиус эффективного действия скважины [2]. Опережающие скважины бурятся по наиболее перемятой угольной пачке, их параметрами являются диаметр, длина, радиус эффективного влияния, величина опережения, расстояние между забоями скважин. Диаметр скважин составляет 80 – 250 мм, длина не ограничивается [1].

Однако, зачастую выбросы происходят непосредственно при бурении самих опережающих скважин, т.е. в процессе проведения противовыбросных мероприятий. Следует отметить, что большое число внезапных выбросов угля и газа, происшедших на шахтах Донбасса при бурении опережающих скважин, отражает не только и не столько специфику бассейна, сколько особенности реализации потенциальной выбросоопасности при внедрении буровым инструментом в выбросоопасную зону [2].

Для детального изучения этого явления проведем серию вычислительных экспериментов, моделирующих поведение газонасыщенного углепородного массива вокруг одиночной горной выработки с пробуренной в ее забое скважиной вблизи зоны тектонически нарушенного угля.

Процесс течения газа в трещиновато-пористой среде, которая деформируется под действием сил горного давления во время проведения одиночной горной выработки, описывается системой уравнений [3-5]:

$$\sigma_{ij,j} + X_i(t) + T_i(t) + P(t) = \rho_n \left(\frac{\partial^2 u_i}{\partial t^2} \right), \quad i, j = x, y;$$

$$\begin{aligned} \frac{\mu_z}{\rho_z} \frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(k(\sigma_{ij}, t) \frac{\partial p}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k(\sigma_{ij}, t) \frac{\partial p}{\partial y} \right) + \frac{\mu_z}{\rho_z} q(t) &= 0; \\ k &= k_{техн} + k_{тект}; \\ k_{техн}(\sigma_{ij}, t) &= \begin{cases} 0 & \text{при } Q < 0,7; \\ k_{\min} & \text{при } 0,7 < Q < 0,8; \\ f(\sigma_{ij}, t) = e^{\frac{2,58 \sigma_1(t) - \sigma_3(t)}{\sigma_2(t)} - 4,65} & \text{при } Q > 0,8; \\ k_{\max} & \text{при } P < 0,1; \end{cases} \end{aligned} \quad (1)$$

где $\sigma_{ij,j}$ - производные от компонент тензора напряжений по x, y ; t - время; $X_i(t)$ - внешние силы; $T_i(t)$ - силы, вызванные внутренним трением, $T_i(t) = -c_g \partial u_i / \partial t$; c_g - коэффициент демпфирования, определяемый экспериментально; u_i - перемещения; $P(t)$ - сила давления газа; ρ_n - плотность породы; ρ_z - плотность газа; p - его давление; $q(t)$ - интенсивность источников газовой выделения; k - полное поле коэффициентов проницаемости пород; μ_z - вязкость газа; $k_{техн}$ - технологическая проницаемость, вызванная перераспределением поля напряжений в результате проведения горной выработки; $k_{тект}(x, y)$ - начальная, тектоническая проницаемость, которая развивается в углях в результате тектонических процессов и является основным фактором их выбросоопасности; $Q = (\sigma_1 - \sigma_3) / \mathcal{H}$ и $P = \sigma_3 / \mathcal{H}$ - геомеханические параметры.

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 [6, 7].

Начальные условия для поставленной задачи записываются в виде:

$$\begin{aligned} \sigma_{yy} \Big|_{t=0} &= \mathcal{H}; \\ \sigma_{xx} \Big|_{t=0} &= \lambda \mathcal{H}; \\ \sigma_{zz} \Big|_{t=0} &= \lambda \mathcal{H}; \\ p \Big|_{t=0} &= 0,8 \cdot \gamma_{\text{воды}} h; \end{aligned} \quad (2)$$

где γ - усредненная плотность вышележащих горных пород; h - глубина разработки; λ - коэффициент бокового распора; $\gamma_{\text{воды}}$ - плотность воды.

Граничные условия:

$$p \Big|_{\Omega_1(t)} = 0,8 \cdot \gamma_{\text{воды}} h;$$

$$\begin{aligned}
p|_{\Omega_2} &= p_v; \quad p_v = 0,1 \text{ МПа}; \\
k_{\text{тект}} &= f(x, y); \\
u_x|_{\Omega_3} &= 0; \\
u_y|_{\Omega_4} &= 0;
\end{aligned}
\tag{3}$$

где $\Omega_1(t)$ - изменяющаяся во времени граница области фильтрации; Ω_2 - внутренний контур (выработка); Ω_3 - вертикальные границы внешнего контура; Ω_4 - горизонтальные границы внешнего контура; p_v - давление воздуха в выработке.

Задача (1) при начальных условиях (2) и граничных условиях (3) аналитического решения не имеет и поэтому решается с применением численных методов. Чтобы получить решение на определенном временном промежутке, применяется конечно-разностный метод. При этом считается, что в начальный момент времени $t = 0$ распределение напряжений и давления задано, и для достаточно малых значений Δt с помощью итерационных соотношений, представленных авторами в работе [8], получаем распределение напряжений, давления метана, скоростей его течения и расходов на момент времени $t + \Delta t$. Этот процесс продолжается от исходного состояния до любого текущего момента времени.

Рассмотрим случай, когда забой выработки высотой 3 м остановлен на расстоянии 11,75 м от тектонического нарушения типа «сброс» с амплитудой смещения 1 м (рис. 1), вокруг которого находится десятиметровая зона перемятого угля. Мощность угольного пласта 1,5 м, глубина проведения выработки – 1200 м. Газоносность угля – 20 м³/т, содержание метана в свободной форме – 10 %, в сорбированной – 90 %. Вмещающая порода – аргиллит.

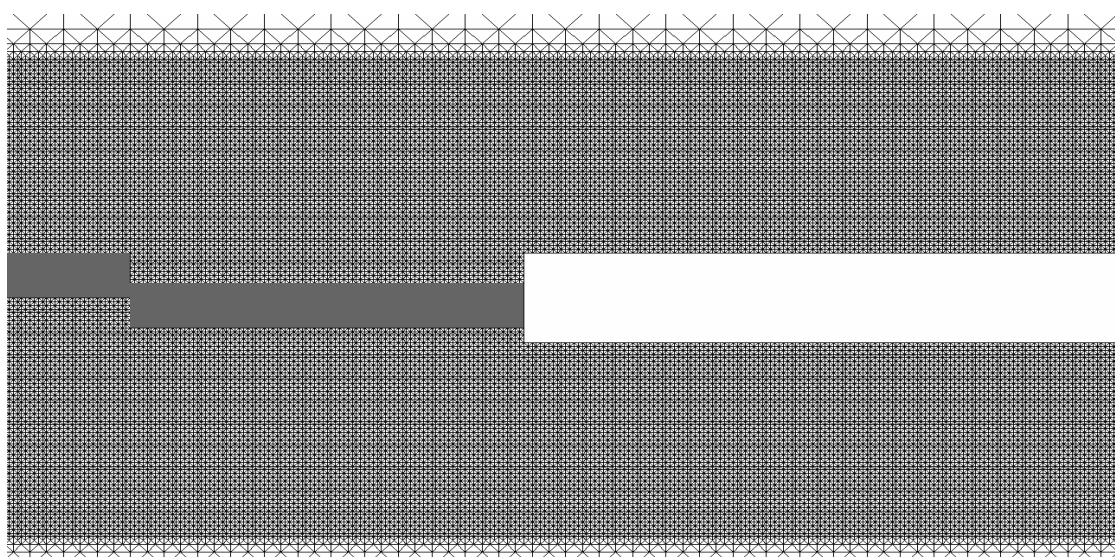


Рис. 1 – Центральный фрагмент конечно-элементной сетки

Для проведения противовыбросных мероприятий в забое выработки по угольному пласту бурят опережающие скважины $\varnothing 250$ мм.

Проведем расчеты и посмотрим, что происходит при внедрении бурового инструмента в выбросоопасную зону и как зависит формирование полости выброса от длины скважины. На рис. 2 показано развитие динамических процессов во времени при длине скважины $l_{скв} = 2,75$ м.

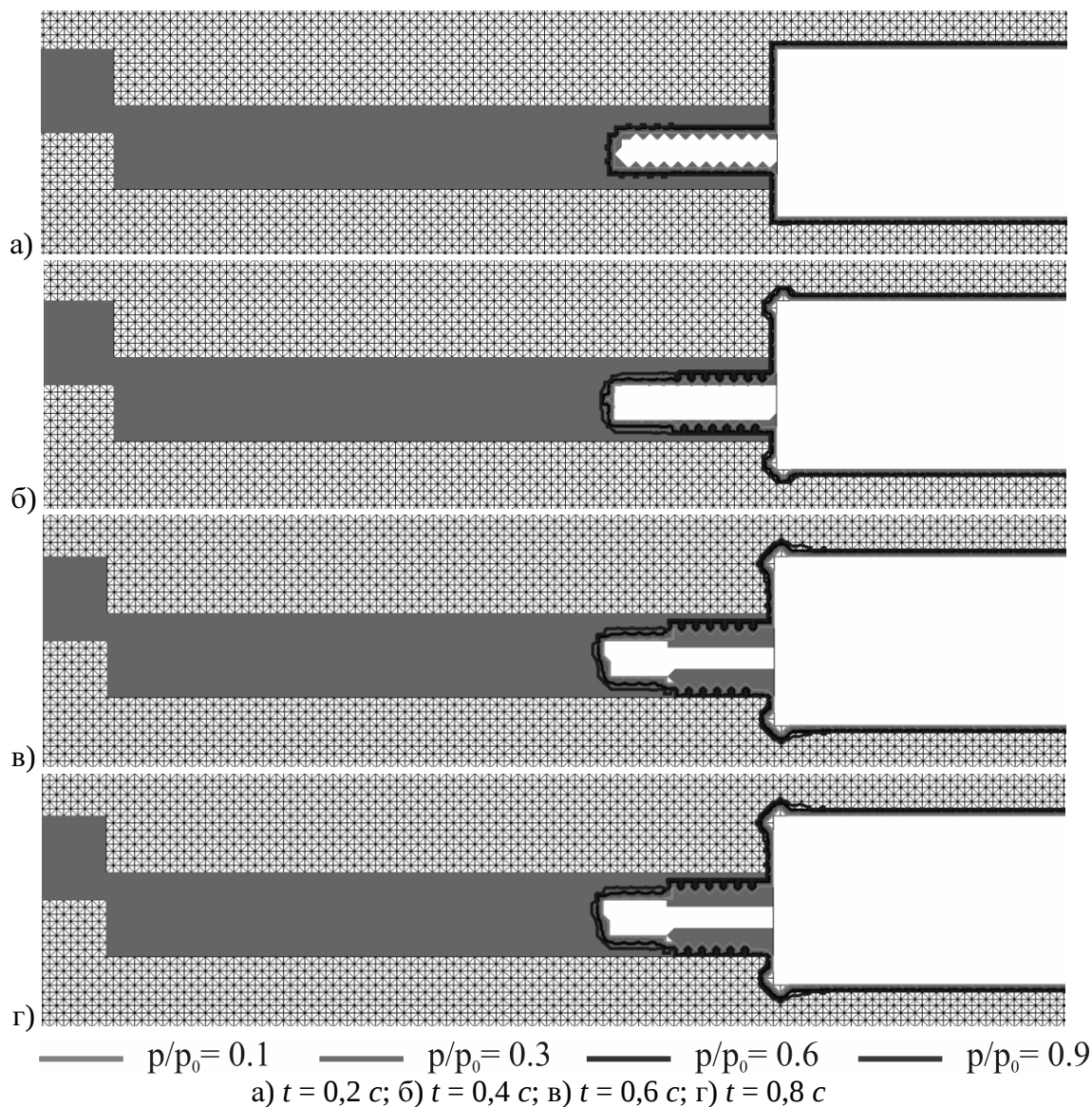


Рис. 2 – Рост длины полости выброса, относительное давление метана в различные моменты времени при $l_{скв} = 2,75$ м

Как можно видеть (рис. 2) время протекания динамических процессов в этом случае составляет всего 0,6 с, затем фильтрационные и геомеханические процессы возвращаются к квазистационарному режиму. За это время образуется небольшая полость, длина которой 0,25 м, диаметр в 2 раза превышает диаметр скважины.

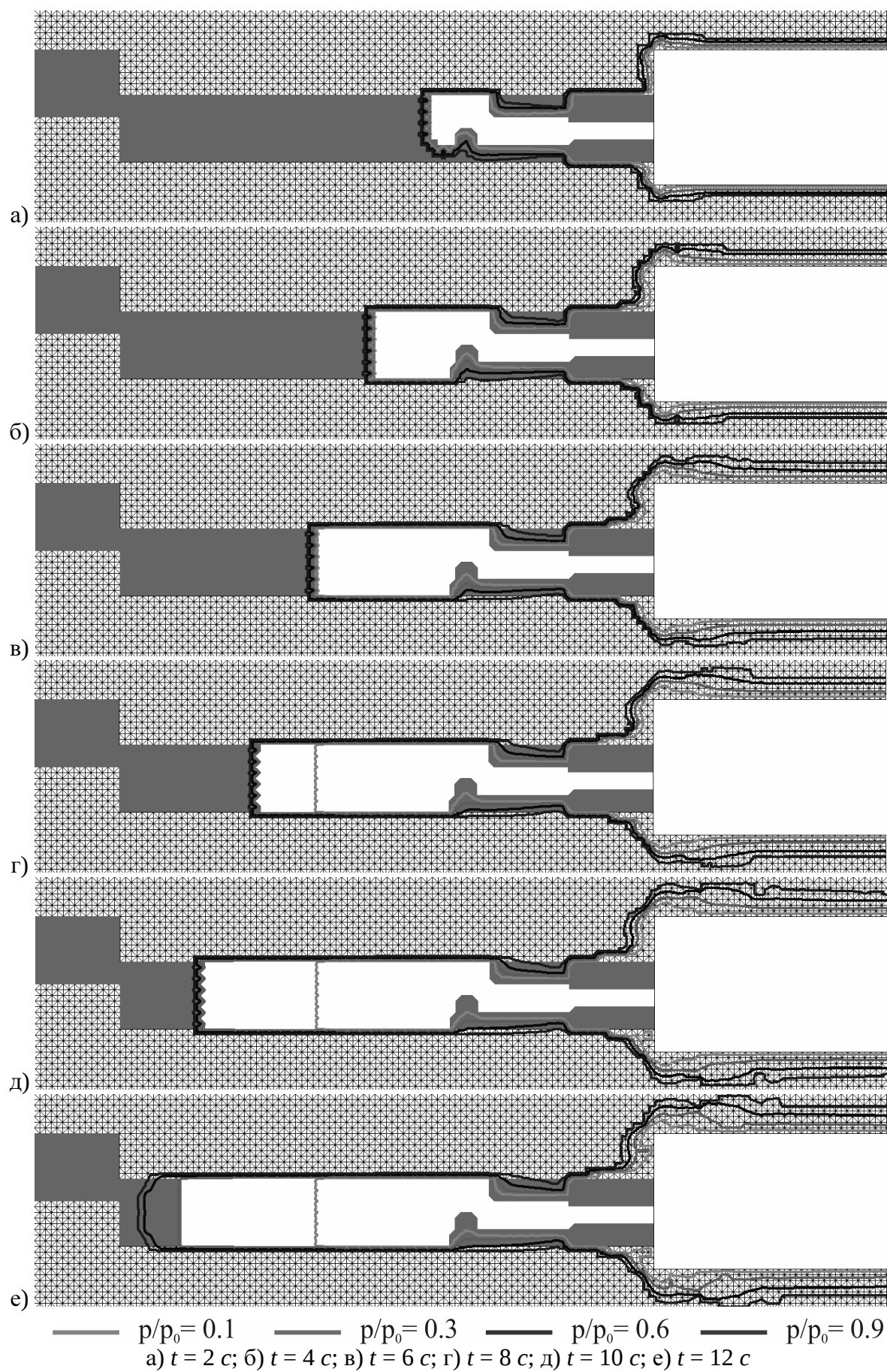


Рис. 3 – Рост длины полости выброса, относительное давление метана при $l_{\text{кв}} = 3,75$ м

При увеличении длины скважины на 0,5 м ($l_{скв} = 3,25$ м) получим такой же результат: время протекания динамических процессов – 0,6 с, длина образовавшейся полости – 0,25 м, диаметр в 2 раза превышает диаметр скважины.

Как отмечал Николин В.И. [2], многочисленные наблюдения показывают, что при бурении скважин в угле небольшой и средней прочности их диаметр увеличивается на 20-30 %. Однако на отдельных пластах (пачках угля), сложенных углем небольшой прочности, а также в зонах тектонических нарушений независимо от прочности угля диаметр скважины часто увеличивается гораздо больше, чем на 30 %, и сопровождается большим выходом штыба. А выброс (выдувание) штыба и газа при бурении скважин (шпуров) является одним из предупредительных признаков, которые предшествуют внезапному выбросу угля и газа [2].

Очевидно, что именно это явление и наблюдается при моделировании бурения скважины вблизи выбросоопасной зоны при длине скважины $l_{скв} \leq 3,25$ м (рис. 2).

Увеличим длину скважины еще на 0,5 м. Теперь ее длина составит $l_{скв} = 3,75$ м. В этом случае повышенный выход штыба перерастает в выброс угля и газа (рис. 3). Длина полости выброса составляет 10,375 м (учитывая и длину скважины), время протекания процесса – 12 с.

На рис. 4 и 5 соответственно показаны графики изменения скоростей течения метана в трещинно-поровом пространстве угольного пласта и рост длины полости выброса при $l_{скв} = 2,75; 3,25$ и 3,75 м.

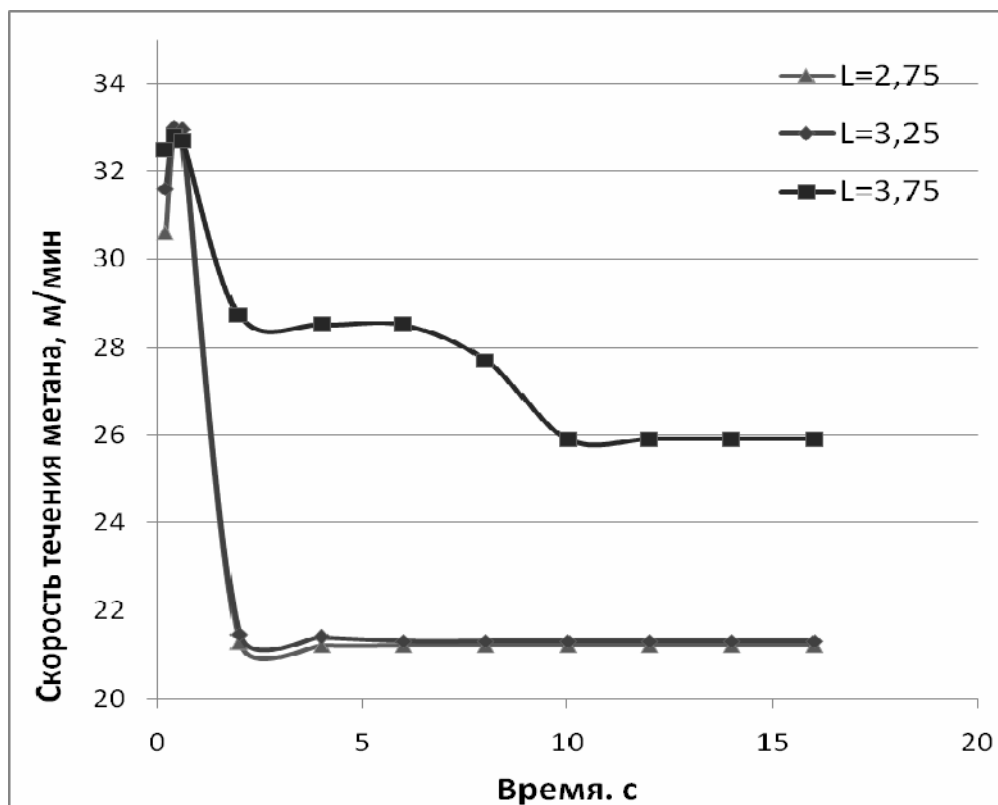


Рис. 4 – Изменение скоростей течения метана при различных длинах скважины

Видно, что в первых двух случаях, при $l_{скв} \leq 3,25$ м, скорости течения практически совпадают. В течение первых 0,6 с они находятся в пределах 30-32 м/мин, затем резко уменьшаются в полтора раза и далее практически не изменяются. В случае $l_{скв} = 3,75$ м видно, что график изменения скорости имеет три ступени. Первая – повышение скоростей, связанное с выдуванием штыба аналогично первым двум случаям, продолжается до 1 с. Вторая – повышение скоростей во время протекания выброса, длится с 1-й по 10-ю с. Третья – стабилизация скоростей на определенном уровне, переход процессов к квазистационарному режиму, на рис. 4 начинается с 10-ой с.

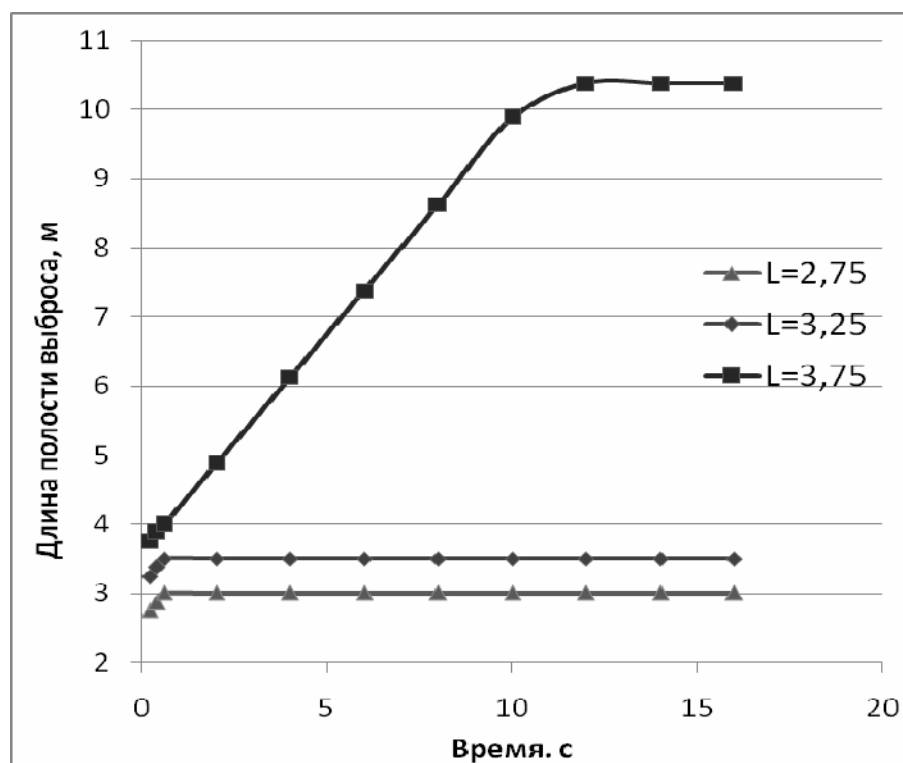


Рис. 5 – Рост длины полости, образованной при различных длинах скважины

На рис. 5 видно, что рост длины полости выброса в первых двух случаях продолжается 0,6 с, в третьем – 12 с. Вместе с тем, повышение скорости течения метана при выбросе продолжалось в течение 10 с. Это говорит о том, что формирование полости выброса заканчивается через некоторое время после падения градиентов давления метана, процесс разрушения продолжается по инерции еще 2 с (в данном случае) после стабилизации процессов течения газа.

В качестве примера, иллюстрирующего подобную ситуацию, можно привести случай, описанный Николиным В.И. [2]. Для уменьшения числа и силы выбросов, происходящих при ведении взрывных работ в лаве на шахте «Нова Руда» (ПНР) бурили скважины диаметром 42 мм и глубиной 10-15 м, расстояние между скважинами по длине лавы 3 м. Скважина на глубину 6 м была пробурена накануне. Но из-за того, что пласт «вел себя во время бурения беспокойно», было принято решение бурение прекратить, дать пласту возможность «успокоиться» и продолжить бурение на следующий день. При

дальнейшем бурении скважины был отмечен повышенный выход штыба, переросший при глубине бурения 9 м во внезапный выброс. Было выброшено примерно 1500 т угля и 180 тыс. м³ углекислого газа.

Т. е. при приближении к выбросоопасной зоне, так же, как и в приведенных выше расчетах, наблюдались небольшие газодинамические явления, которые при увеличении длины скважины и внедрении ее в опасную зону переходят в процесс выброса угля и газа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Правила ведения горных работ на пластах, склонных к газодинамическим явлениям / Стандарт Минуглепрома Украины. – К.: Минуглепром Украины, 2005. – 222 с.
2. Николин В.И., Балинченко И.И., Симонов А.А. Борьба с выбросами угля и газа в шахтах. – М.: Недра, 1981. – 300 с.
3. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике. Пер.с англ. Под ред. Победри Б.Е. – М. Мир, 1975. – 542.
4. Абрамов Ф.А. Рудничная аэрогазодинамика. – М.: Недра, 1972. – 274 с.
5. Булат А.Ф., Круковская В.В. Компьютерное моделирование фильтрации метана в подработанном горном массиве в трехмерной постановке. // Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. тр. / НАН Украины ИГТМ. – Днепропетровск. – 2005. – № 57. – С. 3-12.
6. Баклашов И.В., Картозия Б.А. Механика подземных сооружений и конструкций крепей. – М.: Недра, 1984. – 415 с.
7. Надаи А. Пластичность и разрушение твердых тел. – М.: Мир, 1969. – Т. 1. – 648 с.
8. Круковская В.В. Решение объемной задачи нестационарной фильтрации метана из угольного пласта в выработку методом конечных элементов. // Геотехническая механика: Сб. научн. тр./НАН Украины ИГТМ. – Днепропетровск, 2007. - № 69. – С. 240-248.

УДК 622.1:622.834

Канд. техн. наук, доц.. О.С. Кучин,
канд. техн. наук, доц.. Г.В. Бруй, НГУ,
інж. І.Є. Балафін

ЗРУШЕННЯ ЗЕМНОЇ ПОВЕРХНІ І ГІРСЬКОГО МАСИВУ В ПЛОСКОМУ ДНІ МУЛЬДИ ЗРУШЕННЯ

Проанализированы результаты маркшейдерских инструментальных наблюдений за сдвижением земной поверхности. Выявлено наличие постоянных горизонтальных сдвижений земной поверхности в плоском дне мульды сдвижения, направленных в сторону остановки очистного забоя. Выдвинуты предположения о том, что перемещения земной поверхности и массива горных пород являются следствием движения забоя очистной выработки.

DISPLACEMENT OF THE SURFACE AND HILLS IN FLAT BOTTOM OF A SUBSIDENCE TROUGH

Results of surveying tool supervision for displacement a surface are analysed. Presence of constant horizontal displacements of a subsidence trough, directed aside stops of stope is revealed. The assumption that moving of a surface and a rock is consequence of movement of working face of a coal face is offered.

Унаслідок підземної виїмки запасів корисної копалини на пластових і рудних родовищах у гірському масиві і на земній поверхні мають місце деформаційні процеси, що впливають на природні, промислові і житлові об'єкти.