

ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА ВЫНОСА УГЛЯ И ГАЗА В СКВАЖИНУ ПРИ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ НА УГОЛЬНЫЙ ПЛАСТ

Розглянуто характер змінювання тиску газу у свердловині при гідроімпульсному способу впливу на вугільний пласт. Запропоновані кілька можливих моделей витікання газу із пласта в свердловину.

THE STUDY OF PROCESS CONSUMPTION OF COAL AND GAS IN THE WELL BY HYDRODYNAMICAL INFLUENCE ON COAL SEAM

Consider of character change the pressure gas in the well by hydro impulse influence on coal seam. Proposed of several possible models outflow of gas from seam in the well.

Известны различные способы интенсифицированного воздействия на нагруженные угольные пласты, однако их эффективность невысокая [1, 2, 3].

В ИГТМ НАН Украины разработаны вибрационный метод дегазации [4] и гидроимпульсный метод интенсифицированного воздействия на угольный пласт с целью дегазации и добычи угля [5].

Если вибрационный метод дегазации проходит стадию экспериментальной проверки в очистных забоях, то гидроимпульсный метод воздействия уже много лет успешно применяется при вскрытии угольных пластов, дегазации щитовых лав, и является перспективным для интенсивной дегазации угольных пластов в очистных забоях лав большой длины [6].

Гидроимпульсному методу воздействия на нагруженные угольные пласты посвящен ряд теоретических и экспериментальных исследований [1, 2, 4]. Однако четкого представления о процессах, происходящих в скважинах на различных фазах взаимодействия рабочей среды с газонасыщенным массивом, пока не существует.

В работе [7] авторы рассматривают процесс истечения смеси угля и газа из скважины в виде ударных волн. Другие считают определяющим механизм разрушения угля послойным отрывом за счет сил вязкого трения, с участием сил горного давления и энергии газа [5]. В качестве критериев разрушения газонасыщенной среды предлагается в основном использовать зависимости, которые применяются для исследования внезапных выбросов угля, породы и газа [5].

Процессы, происходящие при гидроимпульсном способе воздействия, существенно отличаются от процессов, происходящих при внезапных выбросах угля, породы и газа. Производительность внезапных выбросов по массе выброшенного угля и газа значительно превосходит аналогичные параметры при гидроимпульсном воздействии. Если внезапные выбросы быстротечны и стабильно протекают во времени, то процессы выноса угля и газа при интенсифицированном воздействии на угольный пласт нестабильны. Для извлечения небольшого количества угля требуется времени на несколько порядков больше, чем при внезапных выбросах [5].

Гидроимпульсный метод воздействия на напряженные угольные пласты можно рассматривать как один из перспективных способов промышленной ин-

тенсифицированной добычи метана. С целью разработки надежных параметров этого способа в различных условиях необходимо более детально изучить различные фазы его протекания в скважине. В предлагаемой статье делается попытка рассмотреть гидроимпульсный метод воздействия на угольный пласт как единый процесс, протекающий одновременно в газонасыщенном массиве и в небольшом объеме скважины.

При гидроимпульсном воздействии на пласт в скважине создается высокое давление в режиме "нагнетание – сброс", приложенное ко всей поверхности скважины. Инициирование самоподдерживающегося процесса разрушения происходит в небольшом объеме между рабочей жидкостью и газонасыщенным массивом. В момент сброса давления с поверхности скважины при определенных условиях возникает искусственный самоподдерживающийся процесс разрушения и выноса угля из скважины [5].

Рассмотрим случай самоподдерживающегося процесса в момент, когда между фронтом рабочей жидкости и газонасыщенным массивом имеется объем, в который выносятся двухфазный поток и задвижка полностью герметично перекрывает сечение скважины. В первом приближении пренебрегаем изменением объема скважины за счет поступления твердой фазы и считаем, что выделяется только газ.

Процесс истечения газа из трещин принимается адиабатическим [5]. Зная расход газа в замкнутом объеме, можно определить изменение давления в объеме скважины по уравнению баланса массы

$$\frac{\partial \rho_i}{\partial t} W_i - \dot{m} = 0, \quad (1)$$

где $\frac{\partial \rho_i}{\partial t}$ - изменение плотности газа в объеме скважины; W_i – объем скважины;

\dot{m} - расход газа из массива.

Возможны следующие модели истечения:

- а) расход газа \dot{m} не изменяется во времени и объем скважины W_i постоянный;
- б) расход газа \dot{m} зависит от противодавления и объем скважины постоянный.

Приведем разрешающие уравнения для случая, когда $\dot{m} = \text{const}$ и $W_i = \text{const}$.

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial \rho_i}{\partial t} W_i - \dot{m} &= 0; \\ \frac{P_i}{\rho_i^k} &= \frac{P_{mpi}}{\rho_{mpi}^k} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

где k – показатель адиабаты газа; P_{mpi} – давление газа в трещинах в момент отрыва частиц; ρ_{mpi} – плотность газа в трещинах в момент отрыва частиц; P_i – давление газа в объеме W_i ; ρ_i – плотность газа в объеме W_i .

Используя условие адиабатичности процесса и исключая из уравнения (1) плотность газа ρ_i , получим

$$\left(\frac{P_i}{P_{mpi}}\right)^{1/k} \rho_{mpi} = \rho_i$$

$$\frac{P_i}{P_{mpi}} = \bar{P}_i$$

$$\frac{\partial(\bar{P}_i)^{1/k} \rho_{mpi} W_i}{\partial t} - \dot{m} = 0$$

$$\frac{\rho_{mpi} W_i}{k} \bar{P}_i^{1-k} d\bar{P}_i = \dot{m} dt \quad (3)$$

Интегрируя выражение (3), получим зависимость роста давления \bar{P}_i газа во времени в объеме W_i скважины

$$P_i = P_{ni} \left(1 + \frac{\dot{m} \cdot t}{\rho_{mpi} W_i \bar{P}_{ni}^{1/k}} \right)^k \quad (4)$$

где $\bar{P}_{ni} = \frac{P_n}{P_{mp}}$ – первоначальное давление газа при $\dot{m} = 0$.

Процесс выноса газа по модели (2) будет происходить до момента, когда $\bar{P}_i = 1$. После этого выброс в скважине прекратится.

Подчеркивая определяющую роль фильтрационных процессов в процессах разрушений при гидроимпульсном воздействии, как при внезапных выбросах, необходимо решать задачи, учитывая, что уголь – это трещиновато-пористый газовый коллектор [8].

Поскольку при гидроимпульсном воздействии происходит интенсивное разрушение газонасыщенного угля, то нельзя рассматривать этот сложный процесс без участия трещин. Общеизвестным является тот факт, что процесс разрушений при гидроимпульсном способе воздействия на пласт, как и при внезапных выбросах, происходит путем последовательного послойного отрыва, что подтверждает идентичность сейсмоакустических диаграмм [5, 8, 9].

Запишем условие инициирования разрушения нагруженного трещино-пористого газового коллектора в виде

$$P_{mpi} \pm P_i = \frac{[\sigma_p]}{m_\Gamma} \quad (5)$$

где P_{mpi} – давление газа в трещинах в момент их отрыва; P_i – давление различной среды на поверхность обнажения скважины; $[\sigma_p]$ – предел прочности на растяжение угля; m_Γ – пористость угля.

Величина P_i может иметь различный физический смысл. В случае истечения смеси газа и угля в скважину без жидкости P_i равно различной величине барометрического давления или величине избыточного давления на поверхность скважины и входит в выражение (5) со знаком минус. При искусственном технологическом воздействии на поверхность скважины в виде давления сброса рабочей жидкости, либо волны растягивающих напряжений величина P_i входит в формулу (5) со знаком плюс.

В качестве первого приближения считаем, что расход газа m с поверхности скважины прямо пропорционален разности давлений ($P_{mpi} - P_i$) в соответствии с выражением (5).

Рассмотрим второй случай, когда расход газа \dot{m} является функцией противодавления \bar{P}_i в объеме скважины. Объем скважины принимается постоянным. Система разрешающих уравнений будет следующей:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial \rho_i}{\partial t} W_i - \dot{m} &= 0 \\ \dot{m} &= \alpha (P_{mpi} - P_i) \\ \frac{P_i}{\rho_i^k} &= const \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

где α – коэффициент пропорциональности.

Решая систему уравнений (6) и вводя обезразмеривание \bar{P}_i , получим дифференциальное уравнение изменения давления во времени

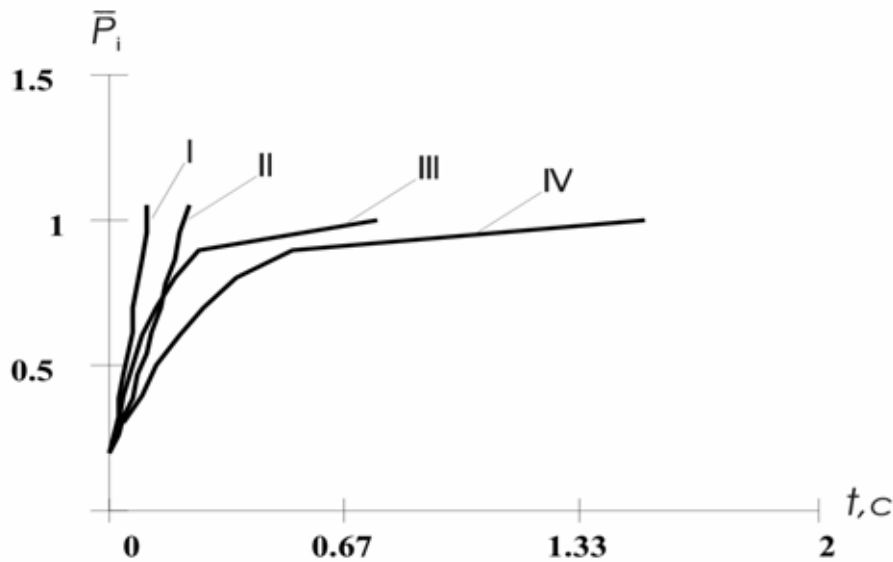
$$\bar{P}_i^{1/k-1} (1-\bar{P}_i)^{-1} d\bar{P}_i = \frac{\alpha \cdot k \cdot P_{mpi}}{W_i \cdot \rho_{mpi}} dt \quad (7)$$

Коэффициент пропорциональности определим из начальных условий, когда при $t=0$ расход газа \dot{m} является максимальным.

Интегрируя левую и правую части уравнения (7), получим зависимость противодавления во времени

$$\int_{\bar{P}_{ni}}^1 \bar{P}_i^{k-1} (1 - \bar{P}_i)^{-1} d\bar{P}_i = \frac{\alpha \cdot k \cdot P_{mpi}}{W_i \cdot \rho_{mpi}} \int_0^{t_k} dt_i \quad (8)$$

Результаты расчета по двум процессам (2) и (4) приведены на рис.1. Исходные данные для расчета по двум моделям истечения принимались следующими: показатель адиабаты метана $k=1,4$, давление газа в трещине $P_{TP}=5 \cdot 10^5$ Па, коэффициент пропорциональности $\alpha = 2 \cdot 10^{-5}$ кг/Па·с, плотность газа в трещине $\rho_{TP} = 3$ кг/м³, объем скважины $W = 1$ м³ и начальный расход газа в скважину $\dot{m} = 10$ кг/с и $\dot{m} = 20$ кг/с.



I, III – для $\dot{m} = 10$ кг/с
 II, IV – для $\dot{m} = 20$ кг/с

Рис 1 – Характер изменения противодавления газа в объеме скважины $W=1$ м³ и различных расходах газа \dot{m} (кг/с)

В обеих моделях течения с ростом противодавления \bar{P}_i уменьшается скорость отброса твердой фазы и выброс в скважине затухает. В случае $\dot{m} = \text{const}$ затухание выброса происходит быстрее, чем в случае, когда $\dot{m} = \alpha (P_{mpi} - P_i)$. Это объясняется обратной связью между расходом \dot{m} и противодавлением \bar{P}_i в объеме скважины. С ростом \bar{P}_i , расход газа \dot{m} уменьшается.

Из анализа кривых III и IV видно три характерных участка изменения давления \bar{P}_i во времени. Линейный участок от $\bar{P}_i=0,2$ до $\bar{P}_i=0,5 \div 0,6$, участок кривой от $\bar{P}_i=0,6$ до $\bar{P}_i=0,8$ и монотонно возрастающий участок (почти линейный) от $\bar{P}_i=0,8$ до $\bar{P}_i=1$.

На участке изменения \bar{P}_i от 0,2 до 0,6 возможны значительные скорости отброса твердой фазы с поверхности разрушения. Линейный монотонно возрастающий участок кривой от $\bar{P}_i=0,8$ до $\bar{P}_i=1$ может говорить о незначительной скорости отброса частиц и о возможности расслоения среды без ее отброса.

Из графиков, приведенных на рис. 1, видно, что интенсифицированный выброс угля и газа в скважине в ограниченном объеме быстро затухает. Для увеличения скорости отброса (скорости процесса) необходимо увеличивать объем скважины, т.е. полностью ее открывать, выпускать только воду и газоугольную пульпу. Газ, как основной энергоноситель, должен остаться в скважине.

Уравнение интенсифицированного управления процессом выноса газоугольного потока из скважины, полученное из уравнения изменения импульса, имеет вид

$$V_{mo} = \frac{(1 - \bar{P}_i) \cdot P_{mp} F_{cl} t_{om}}{M_{cl}}, \quad (9)$$

где F_{cl} – площадь слоя; t_{om} – время отрыва слоя; M_{cl} – масса слоя; V_{mo} – скорость отброса твердой фазы с поверхности скважины.

С учетом формулы (4) уравнение управления процессом (9) по первой модели (2) будет иметь вид

$$V_{mo} = \frac{\left[1 - \bar{P}_H \cdot \left(1 + \frac{\dot{m} \cdot t}{\rho_{mpi} W_i \bar{P}_i^{1/k}} \right) \right]^k P_{mp} F_{cl} t_{om}}{M_{cl}} \quad (10)$$

В связи с тем, что и время отброса является функцией противодавления, преобразуем выражение (9), заменяя

$$t_{OT} = \frac{l_{cl}}{V_{TO}},$$

где l_{cl} – толщина слоя твердой фазы.

$$V_{TO}^2 = \frac{(1-\bar{P}_i) P_{TP} \cdot F_{cl} \cdot l_{cl}}{F_{cl} \cdot l_{cl} \cdot \rho_T}$$

Окончательно получим выражение для определения скорости отброса частиц угля с поверхности скважины

$$V_{TO} = \sqrt{\frac{(1-\bar{P}) \cdot P_{TPi}}{\rho_T}}, \quad (11)$$

где ρ_T - плотность твердой фазы угля.

Из выражения (11) видно, что скорость отброса зависит от величины противодействия в скважине, давления газа в трещине в момент ее отрыва с поверхности скважины и плотности разрушающего материала. Используя формулы (10), (11) и график изменения противодействия \bar{P}_i во времени (рис.1), можно в любой момент времени определить скорость отброса V_{TO} (скорость процесса разрушения) частиц угля с поверхности скважины по первой (2) и второй (5) модели.

Избыточное давление газа из скважины при достижении требуемой массы извлеченного угля можно сбрасывать в любом заданном режиме. Для этого необходимо специальное устройство для разгазирования, например, газовый эжектор, работающий за счет энергии газа, или подключение скважины к дегазационной системе шахты. В этом случае процесс разгазирования будет полностью управляемым.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Физико-химические способы добычи угля / А.В. Докукин., Н.Ф. Кустов., Ю.С. Кузнецов., С.Н. Кузнецова.- М.: ЦНИЭНУголь,- 1976г.-34с.
2. Нетрадиционные технологические процессы добычи угля / В.Н. Потураев., С.А. Полуянский., А.Н. Зорин и др.- Киев: "Техника", 1986г.-177с.
3. Снижение выбросоопасности при динамическом воздействии на угольный массив / Под ред. А.Э. Петросяна.- м.: "Наука", 1985г.-202с.
4. Зорин А.Н., Колесников В.Г., Минеев С.П. О вибрационном воздействии на угольный пласт // Уголь,- 1981.- №8 – с.17-20.
5. Нетрадиционные способы предотвращения выбросов и добычи угля / Софийский К.К., Камфакчиян А.Н., Воробьев Е.А.- М.: "Недра", 1994г, - 192с.
6. Булат А.Ф., Звягильский Е.Л., Софийский К.К и др. Результаты экспериментальных работ по интенсификации дегазации угольных пластов l_1 на шахте им. А.Ф.Засядько гидродинамическим воздействием. // Геотехническая механика: Межведомственный сборник научных трудов.- Днепропетровск. ИГТМ НАН Украины.- 2000, вып.37.- с.28-31.
7. Зорин А.Н., Колесников В.Г., Диденко А.Т. Импульсно-волновое возмущение в скважине при пневмогидравлическом способе добычи угля.// Физ.- техн. проблемы разработки полезных ископаемых. – 1984. - №4. –С. 88-92.
8. Шевелев Г.А. Динамика выбросов угля, породы и газа.- Киев: "Наукова Думка", 1989.-160с.
9. Бушева В.А., Бондаренко Н.Я., Селиванова Н.И. Анализ сейсмограмм гидродинамических явлений в шахтах Донецкого бассейна //Технология очистных работ на шахтах, разрабатывающих тонкие пласты. – Донецк, 1978. –С. 218-222.