

ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЛИТЕЛЬНОГО ДЕГАЗИРОВАНИЯ ГАЗОНОСНОГО МАССИВА

Дегазационный процесс при выделении шахтного метана из массива рассматривается через призму развития фильтрационной зоны вблизи свердловин. Установлено, что за счет осуществления пульсационного режима дегазации возможно значительное повышение эффективности та срока полезной работы газовой свердловин. Лл. 1. Библиогр.: 4 найм.

В настоящее время, как известно, в Украине первоочередное значение приобретает проблема максимально эффективного использования всех видов собственных источников энергии. В частности, использование в качестве энергоносителя природного газа - метана, запасы которого в угольных шахтах Донбасса, по оценкам геологов, вполне соизмеримы с запасами метана на промышленно разрабатываемых газовых месторождениях. Причем, шахтный метан обладает значительными преимуществами перед газом нефтяных, газовых и газоконденсатных месторождений, так как содержит меньшее количество примесей. Однако, использование этого газа в промышленности сдерживается отсутствием высокоэффективных технологий, позволяющих повышать интенсивность дегазации и концентрацию метана в дегазационных системах для его последующего использования в народном хозяйстве.

Разработка эффективных технологий дегазации угленосного массива, в первую очередь, связана с изучением фильтрационного процесса в массиве. В связи с этим, обратимся к физике и механизму зарождения и развития процесса фильтрации в угольном пласте в рамках современных воззрений на газодинамическое состояние горного массива и его изменение при нарушении сплошности [1,2].

Так известно, что бурение скважины (R_0) приводит к снятию напряжения от горного давления в некоторой ее окрестности. Если сжимающие напряжения снимаются в радиусе $r=R$, тогда вблизи скважины можно выделить следующие зоны: зона разрушенного угля $r \leq R_1$, проницаемость которой можно считать бесконечной; зона фильтрации, которая подразделяется на зону развитой фильт-

рации $R_1 \leq r \leq R_2$ и зону фильтрационных каналов $R < r < R_2$ - ориентированных трещин, обладающих отличной от нуля проницаемостью, зависящей от давления газа и сжимающего напряжения. В этой зоне в радиальном направлении трещины не образуются, коэффициент проницаемости в этом направлении $K_r = 0$. За этими зонами следует непроницаемая зона. В области развитой фильтрации ($R < r$) целостность угольного массива нарушена расширяющимся газом, напряжения в этой зоне от внешней нагрузки передаются через площадки контактов элементов разломанного угля, прижатых друг к другу горным давлением. При этом модельными экспериментами и теоретическими исследованиями [2,3] установлено, что если имеется полость, заполненная средой со свойствами, аналогичными угольному массиву в зоне развитой фильтрации, к границам которой приложены как нормальные, так и касательные напряжения, то для напряженного состояния в этой области характерно следующее. Заполнение такой среды газом с давлением P , практически не изменяя ее состояния равновесия, приводит к уменьшению нормальных напряжений, передающихся через контакты между элементами среды σ (к снижению нагрузки на скелет) приближенно на величину $(1-\sigma)$ (где σ - отношение части поверхности, занятой площадками контакта, ко всей поверхности элемента). При этом в сумме напряжение сжатия каждого элемента почти не изменяется. С другой стороны, понижение давления газа приводит к росту нормальных напряжений, передающихся через контакты между зернами угля σ и при некотором давлении газа возможно наступление состояния предельного равновесия.

При бурении скважины в пласте происходит перманентное изменение напряженного состояния массива в ее окрестности, а также существенно изменяется объем истечения газа из этой скважины. Описанными выше закономерностями объясняется развитие зоны фильтрации вокруг такой скважины. Так, если скважина перекрыта, то в зоне фильтрации ($R < r$) везде устанавливается одинаковое давление P . Если вентиль скважины открыть, то из нее начнет вытекать некоторое количество газа и давление его в

прискважинной области понизится. При этом указанные контактные напряжения σ в зоне фильтрации - σ_r будут расти и если они превысят максимальную нагрузку, которую в состоянии равновесия выдерживает массив угля в этой зоне - σ_R , то равновесие его нарушается и на поверхности $r=R_1$ произойдет разрушение угля и смещение этой поверхности. Этот процесс будет происходить до тех пор, пока нагрузка σ_r не уменьшится настолько, что станет возможным новое состояние равновесия. При перекрытии скважины в ней устанавливается давление газа P_* . После открытия вентиля вновь и истечения некоторого количества газа из скважины, а затем перекрытия скважины, в ней снова устанавливается равновесное состояние при том же давлении газа P_* , но уже при другом радиусе фильтрации R_N . При открытии и закрытии вентиля происходит смена автомодельных напряженных состояний с разной величиной радиуса фильтрации, зависящего от количества газа, вытекающего из скважины.

Таким образом, анализ физики и механизма фильтрационного процесса вблизи скважины показывает, что по мере каждого последующего цикла сброса и истечения газа после ее открытия, радиус зоны фильтрации можно увеличивать. Для оценки степени эффективности пульсационного режима дегазирования на развитие фильтрационной зоны рассмотрим аналитическое описание этого процесса.

Считая справедливым для газонасыщенного массива закон Дарси, уравнение, описывающее радиальную фильтрацию в окрестности скважины с учетом десорбции можно записать в виде [2]:

$$\frac{K_f}{\mu} \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(rP \frac{\partial P}{\partial r} \right) = mB \frac{\partial P}{\partial t}, \quad (1)$$

где K_f - коэффициент проницаемости; μ - вязкость газа; $B = 1 + \frac{abRT_0}{m(1+aP_s)^2}$; R_2 - газовая постоянная; T - абсолютная температура; a, b - параметры изотермы сорбции; P_s - давление насыщения сорбции.

В безразмерных переменных: $y=r/r_0$; $\beta=P/P_{00}$; $r=t/t_{00}$, (где $t_{00}=\mu m R^2_0/K_f P_{00}$ - масштаб времени фильтрации) уравнение (1) имеет вид

$$\frac{1}{y} \frac{\partial}{\partial y} \left(y \frac{\partial \beta^2}{\partial y^2} \right) = \frac{B}{\beta} \frac{\partial \beta^2}{\partial \tau^2} \quad (2)$$

Соотношение (2) можно рассматривать как зависимость от одной переменной $\xi = \frac{y}{\sqrt{\tau}}$. При этом оно запишется в виде:

$$z'' + z' \left(\frac{B\xi}{2\beta} + \frac{1}{\xi} \right) = 0, \quad (3)$$

где
$$z = \beta^2; \quad \beta = \beta^* \left(\frac{\xi}{\xi^*} \right)^n; \quad (4)$$

β^* и ξ^* - значения β и ξ на фронте фильтрации; n - просветность угля.

Фильтрация газа для первого приближения параметра $\beta=\beta^*$ рассмотрена в работе [2]. Однако это приближение пригодно при больших значениях β и предполагает адиабатичность процесса, когда массив не подвержен эксплуатации или рассматривается лишь первоначальный момент дегазации [4]. Для исследуемого процесса необходимо рассмотрение более общего случая, когда n может принимать произвольное значение. В связи с этим, уравнение (3) решаем для представления параметра β в форме (4). При этом уравнение (3) свелось к линейному дифференциальному уравнению 2-го порядка:

$$z'' + z' A' (\xi^{1-n} + \xi^{-1}) = 0, \quad (5)$$

где
$$A' = \frac{B\xi^n}{2\beta}.$$

В области новой переменной $\eta=z'$ решение уравнения (5) приняло вид:

$$\eta = \frac{\sigma_0 \xi}{\xi} e^{-\frac{A}{2-n} (\xi^{2-4} - \xi_0^{2-n})}, \quad (6)$$

где $\eta_0 = z'_0.$

Для нахождения граничного значения z'_0 воспользовались условием на границе фильтрации $z' = \xi_*$ и в результате получили:

$$z'_0 = \frac{z_* \xi_*}{\xi_0} e^{A_1 \left(\xi_*^{2-n} - \xi_0^{2-n} \right)} \quad (7)$$

где $A_1 = A/2n$.

Окончательная зависимость между давлением газа в угле, радиусом скважины и временем фильтрации получена в виде:

$$z = z_0 + \xi_*^2 \xi_0 \int_{\xi_0}^{\xi} s^{-1} e^{-A_1 (s^{2-n} - \xi_0^{2-n})} ds \quad (8)$$

Последнее уравнение позволяет определять параметр фильтрации ξ_* при известных значениях давления газа на границах Y_0, Y_* . Уравнение (8) решалось численно на ЭВМ. В основу алгоритма были заложены квадратурные формулы Гаусса для вычисления определенного интеграла и пошаговый поиск параметра ξ_* , удовлетворяющий на границах значениям P_0 и P_* . По найденному значению ξ_* определялась граница фильтрации в зависимости от времени открытия скважины в соответствии с соотношением $Y = \xi \sqrt{\tau}$.

Численные расчеты проводились для газа метана при следующих исходных данных: $R_f = 519$ Дж/(кг·К); $\mu = 0,1$ МПа·с; $T = 300$ К; $a = 1$ МПа⁻¹; $b = 15$ кг/м³; $P_s = 4$ МПа; $P_0 = 20$ МПа; $K_f = 10^{-3}$ МД. Результаты расчетов относительного приращения зоны фильтрации для N -го ряда фильтрационных циклов единого фильтрационного процесса в зависимости от времени продолжительности циклов

представлены на рисунке. При этом зона

на фильтрации начального цикла соответствует 60 % от радиуса зоны стационарной фильтрации. Анализ результатов показывает, что приращение зоны фильтрации при циклическом фильтрационном процессе со временем, как и следовало ожидать, снижается. Однако уже после третьего цикла пульсаций, при данных расчетных параметрах, радиус фильтрационной зоны достигает размеров зоны фильтрации стационарного режима. А приращения в последующих циклах идут уже на расширение зоны фильтрации, обу-

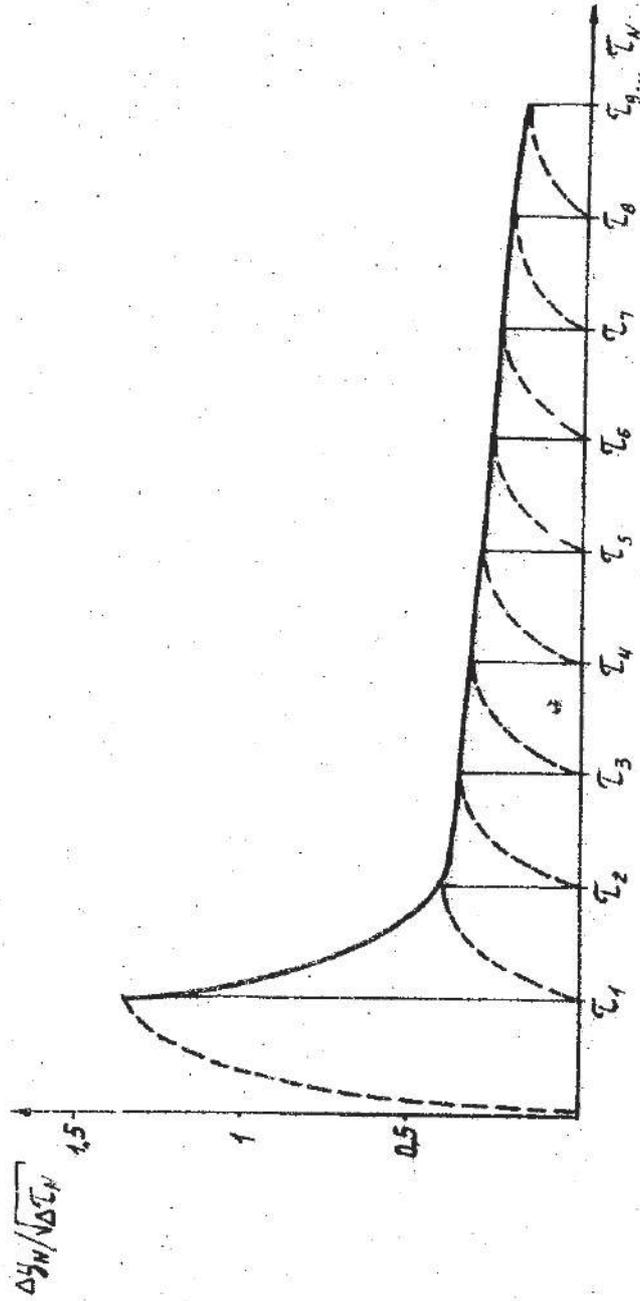


Рис. Приращение зоны фильтрации Δy_N при циклическом фильтративном процессе в зависимости от времени продолжительности цикла $\Delta \tau_N$: сплошная линия - изменение приращения на протяжении всего периода фильтративного процесса; пунктирная - изменение приращения зоны фильтрации в N -ом фильтративном цикле; $\Delta y_N = \Delta \tau_N / \tau_0$; $\Delta \tau_N = \Delta t_N \cdot t_0$.

словленной пульсационным режимом. Причем, суммарные значения данных приращений, как видно из рисунка, весьма значительны и могут превосходить первоначальную зону фильтрации в несколько раз. Последнее определяется временными интервалами пульсационных циклов. Таким образом, пульсационный режим дегазации является одним из путей существенного повышения эффективности длительного дегазирования углепородного массива, за счет чего возможно значительное повышение эффективности и срока полезной работы газовой скважины.

ЛИТЕРАТУРА

1. Потураев В.Н., Минеев С.П. Использование вибрационных и волновых эффектов при обработке выбросоопасных пластов. - К.: Наук.думка, 1992. - 200 с.

2. Христианович С.А., Коваленко Ю.Ф. Об измерении давления газа в угольных пластах // ФТПРПИ, 1988. - № 3. - С. 3-23.

3. Коваленко Ю.Ф. Эффективные характеристики тел с изолированными газонаполненными трещинами. Волна разрушения. - Препринт ИПМ АН СССР № 155. - Т. 30. - 52 с.

4. Лейбензон В.В. Движение природных жидкостей и газов в пористой среде. - М.: ОГИЗ, 1957. - 244 с.