

УДК 622.012.2:620.92.002.2

Воробьев Е.А., к.т.н., Шустова Д.В.

АДИ ГВУЗ «ДонНТУ», г. Горловка

УЛУЧШЕНИЕ ОХРАНЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ЗА СЧЕТ УМЕНЬШЕНИЯ ВЫДЕЛЕНИЯ ШАХТНОГО МЕТАНА В АТМОСФЕРУ

Рассмотрено влияние на окружающую среду выделенного шахтного метана. Даны объемы выделяемого газа-метана при отработке угольных месторождений и процент его использования. Обоснована технологическая схема активизации добычи метана при помощи пробуренных с поверхности вертикальных скважин на угольные пласты, с применением пневмогидравлического метода.

Введение

Украина обладает большими запасами твердого топлива-угля, разведанные запасы которого составляют 46,5 млрд т, а общие ресурсы – 117,5 млрд т. Каждая тонна угля, в зависимости от марочного состава, содержит от 5 до 40 м³ метана.

При выемке угольных месторождений метан вместе с вентиляционным воздухом выбрасывается на поверхность и тем самым загрязняет окружающую среду.

Для использования метана и, соответственно, уменьшения его выброса в атмосферу могут быть использованы дегазационные установки. Однако, на примере шахт Центрального района Донбасса (ЦДР), они не действуют из-за низкой концентрации метана (меньше 30 %) в дегазируемой газозооной смеси, которая не может быть использована в качестве топлива из-за взрывобезопасности. Поэтому метан выбрасывается в окружающую среду.

Общий объем метана, который поступает в атмосферу во время работы всех шахт ЦДР, составляет 99,8 тыс. т/год или 140 млн. м³/год (таблица 1).

Таблица 1 – Количество выбросов газа-метана

Предприятие	Добыча угля, тыс. т/год	Выброс газа метана CH ₄ , тыс. т/год
ГП «Артемуголь»	770	33,5
ГП «Ордженикидзеуголь»	730	33,1
ГП «Дзержинскуголь»	700	33,2
Всего:	2200	99,8

В вентиляционной струе воздуха содержится в среднем 0,2 % метана. Однако количество метана, поступающего в атмосферу, в 2 раза больше вследствие дополнительного его попадания через трещины из подработанных площадей.

Под действием выбросов метана в комплексе с другими веществами осуществляется изменение состава и качества атмосферы, разрушение озонового слоя и создание условий для возникновения парникового эффекта.

В связи с этим проблема добычи и использования метана в промышленных целях и, тем самым, снижением его выброса в атмосферу, является актуальной.

Цель работы

Целью работы есть исследование существующих технологий добычи метана из пробуренных вертикальных скважин и разработка новой технологической схемы с использова-

нием влияния пневмогидравлического метода на угольный массив с автоматическим циклическим воздействием на трещины и поры углепородного массива.

Решение задачи

Исследование способов воздействия на углепородный массив с целью добычи метана показал, что более эффективными и безопасными являются гидродинамические способы. К их числу относятся гидроразрыв, гидрорасчленение, кавитация и др.

Наиболее простым, эффективным и экологически чистым способом попутной добычи газа из углеродного массива, в подземных выработках, является способ гидродинамического воздействия, который успешно применяется при проведении ряда горных работ, как эффективный способ интенсификации газовыделения и снижения выбросоопасности. Он заключается в создании на границе с угольным массивом знакопеременных нагрузок водой, заполняющей пробуренную по углю скважину, что приводит к частичному разрушению угля, разупрочнению его в зоне влияния скважины и интенсификации газовыделения, что осуществляется благодаря созданию градиента давления, образующегося при обратимой фильтрации воды в момент сброса давления в системе.

Применение гидродинамического воздействия в условиях поверхностных дегазационных скважин не предоставляется возможным, так как образованию действенного градиента давления при его сбросе в скважине препятствует вес столба воды, заполняющей скважину. В связи с этим часть воды в скважине была заменена сжатым воздухом (уровень воды в скважине не превышает 10–30 м над уровнем перфорации). Однако, в этом случае снижается скорость изменения давления при его сбросе, так как она определяется временем истечения сжатого воздуха из скважины. Это, в конечном итоге, снижает величину градиента давления внутри массива и возможности очистки фильтрационных каналов.

Тем не менее, учитывая успешные результаты гидродинамического воздействия, исследование эффективности применения пневмогидродинамического воздействия на углепородный массив с целью добычи шахтного метана предоставляется вполне обоснованным, так как для очистки фильтрационных каналов от коагуляции величина разности давлений должна быть достаточной для создания знакопеременного давления воды в массиве с высокой скоростью обратимой фильтрации.

Для методик расчета параметров, более адекватно отвечающих характеру процесса, необходимо построить реальную математическую модель, учитывающую нестационарный характер течения. Данная модель рассматривает процесс гидродинамического воздействия на массив с учетом численных параметров пневмовоздействия. Следует иметь в виду, что при пневмогидродинамическом воздействии сжатый воздух является средством создания динамических нагрузок на границе «вода-массив» и отличием от гидродинамического является более низкая скорость изменения давления, обусловленная временем истечения сжатого воздуха из скважины.

Будем рассматривать угольный пласт как трещиновато-пористую структуру, расположенную на большой глубине и находящуюся под нагрузкой вышележащих слоев горных пород. Считаем, что при движении жидкости под давлением возмущения напряженного состояния имеют малую величину, а смещения твердой фазы незначительны по сравнению со скоростью потока. Предположим, что вмещающие породы непроницаемы по сравнению с угольным пластом и идеально жестки.

Рассмотрим основные процессы, происходящие при нагнетании жидкости под давлением, и соответствующие им уравнения. Тогда исходная система уравнений, на которой будем основывать математическую модель процесса, будет иметь следующий вид:

$$1 - m \left(p_1^{(0)} \frac{\partial u_i}{\partial t} - p_2^{(0)} \frac{\partial w_i}{\partial t} \right) + \frac{\partial t_{ij}}{\partial x_j} - \frac{\mu_0}{a_0} m_0 (1 - m_0) (w_i - u_i)$$

$$+(m_0(p_1^{(0)} - p_2^{(0)}) - (1-m) \cdot (p - p_2))q_1 = 0, \quad (1)$$

$$p_2 \frac{dw_1}{dt} + \frac{dP}{dx_1} + \frac{\mu_0}{a_0} m_0(1-m_0)(w_i - u_i) + p_2 g_i = 0, \quad (2)$$

$$\frac{\partial m}{\partial t} - \frac{\beta_1}{3} \frac{d\theta f}{dt} - \beta_1 (1-m_0) \frac{\partial P}{\partial t} + a_1 (1-m_0) \frac{\partial T_1}{\partial t} - (1-m_0) \frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0, \quad (3)$$

$$\frac{dm}{dt} + \beta_2 m_0 \frac{dP}{dt} - a_2 m_0 \frac{dT_2}{dt} + m_0 \frac{dw_i}{dx_i} = 0, \quad (4)$$

$$(1-m_0) c_1 \frac{\partial T_1}{\partial t} = (1-m_0) D_1 \bar{V}^2 T_2 + (1-m_0) a_1 T_0 \frac{\partial \sigma}{\partial t} + x(T_2 - T_1), \quad (5)$$

$$m_0 c_2 \frac{dT_2}{dt} = m_0 D_2 \bar{V}^2 T_2 + m_0 a_2 T_0 \frac{dP}{dt} + x(T_2 - T_1), \quad (6)$$

$$\sigma_{ij}^f = (1-m_0) \cdot (\lambda_1 \varepsilon \delta_{ij} + 2\lambda_2 e_{ij} + \beta_1 k P \delta_{ij} - a k T_1 \delta_{ij}), \quad (7)$$

где x_i – оси координат;

$a_0 = k(1-m_0)$ – коэффициент гидравлического сопротивления среды, пропорциональный проницаемости k ;

c_1 – удельная теплоемкость j -той фазы;

λ_i – коэффициент Ламе (характеризует параметры рассеивания j -той среды);

D_i – коэффициент теплопроводности j -той фазы;

e_{ij} – тензор деформации скелета среды;

δ_{ij} – единичный тензор;

g_i – компоненты силы тяжести;

k – проницаемость (k_0 – «стационарная», «начальная» проницаемость);

m – пористость (m_0 – «начальная» пористость);

P – давление;

T – время;

T_j – температура j -той фазы;

u_i – компонента скорости движения твердой фазы;

w_i – средняя («истинная») скорость жидкости;

mw_i – скорость фильтрации;

a_j – коэффициент объемного расширения j -той фазы;

β_i – изотермическая сжимаемость j -той фазы;

ε – параметр сцементированности горной породы;

$\lambda_1(1-m_0)$ – упругие коэффициенты Ламе ($j = 1, 2$);

μ – динамическая вязкость жидкости – «начальная» вязкость);

p_j – плотность j -той фазы ($p_1^{(0)}$ – «начальная» плотность);

σ_{ij} – компонента истинного напряжения в твердой фазе;

σ_{ij}^f – компонента эффективного («фиктивного») напряжения;

θ – парный инвариант тензора напряжения;

Δ^2 – оператор Лапласа;

x – коэффициент межфазового обмена;

x_j – параметр в уравнении j -той фазы.

Здесь:

(1), (2) – уравнения движения твердой и жидкой фаз;

(3), (4) – уравнения неразрывности фаз;

(5), (6) – уравнения сохранения энергии для фаз;

(7) – соотношение, связывающее напряжения σ_{ij}^f и давление P со смещениями (деформациями) скелета среды и позволяющее рассматривать систему (1) – (7) как замкнутую.

Данная система отражает общую постановку задач движения жидкостей и газов в глубинных пористых породах. Теоретические предпосылки являются базой для создания технологической схемы пневмогидравлического метода воздействия на угольный пласт.

Для осуществления пневмогидродинамического воздействия на угленосную толщу пород через скважину с целью интенсификации притока газа используется следующее оборудование (рисунок 1): масляный насос 50НР-32 для управления устройством гидродинамического воздействия, компрессор УКС-400, насосно-компрессорные трубы (НКТ) и устройство гидродинамического воздействия (УВГ).

Наличие высокопроизводительного компрессора высокого давления УКС-400 обеспечивает компенсацию незначительных утечек воздуха из системы (до $1,5 \text{ м}^3/\text{мин}$) и достижение необходимого значения давления сжатого воздуха.

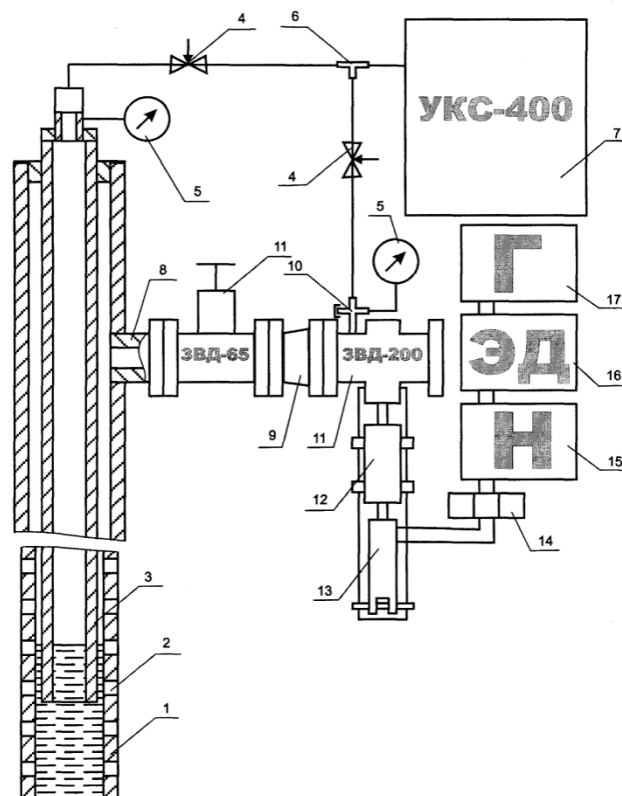


Рисунок 1 – Принципиальная схема расположения оборудования при пневмогидродинамическом воздействии

- 1 – обсадные трубы; 2 – перфорационные отверстия; 3 – НКТ, 4 – вентиль; 5 – манометр;
 6 – тройник; 7 – компрессор; 8 – патрубок; 9 – переходник; 10 – тройник; 11 – задвижка
 высокого давления; 12 – пружинный механизм; 13 – гидроцилиндр; 14 – гидрораспределитель;
 15 – насос; 16 – электродвигатель; 17 – генератор

Техническая характеристика УВГ:

максимальный расход газонасыщенной пульпы, $m^3/c - 0,6$;

максимальное давление в ставе, $MПа - 10,0$;

максимальное давление в гидроцилиндре, $MПа - 10,0$;

рабочее давление в гидроцилиндре, $MПа - 5,0$;

время полного открывания клинового затвора задвижки

высокого давления, $c -$ не более $0,5$;

маса устройства (без пульта управления и соединительных рукавов), $кг - 185$;

габаритные размеры, $m - 1,8 \times 0,4 \times 0,4$;

масса пульта дистанционного управления, $кг - 50$;

рабочая жидкость в гидроцилиндре – масло;

наработка на отказ, цикл – 600 ;

условный проход задвижки высокого давления, $мм - 100$.

Знакопеременное движение на границе «вода-массив» создается посредством действия сжатого воздуха на столб воды, заполняющей перфорированную часть скважины. Для этой цели используется то же устройство УВГ, что и для гидродинамического воздействия.

При пневмогидродинамическом воздействии подъем давления в межтрубном пространстве скважины и насосно-компрессорных трубах (НКТ) осуществляется путем нагнетания воздуха компрессором 7, а сброс давления – открытием скважины с помощью устройства гидродинамического воздействия (УВГ).

УВГ состоит из следующих составных частей: задвижки ЗВД-200-11; пружинного механизма – 12; гидроцилиндра – 13; пульта дистанционного управления – 14. Подаваемый компрессором сжатый воздух создает в скважине давление, необходимое для проникновения воды в прискважинную зону. Во время этой операции выпускное отверстие задвижки 11 закрыто, а шток с клиновым затвором полностью сдвинут в сторону задвижки. Давление сжатого воздуха в скважине выдерживается в течение времени, необходимого для фильтрации воды в массив на заданную глубину, после чего гидрораспределитель ПДУ переводится в положение, при котором шток гидроцилиндра перемещается и сжимает пружину 12, при этом клин задвижки 11 остается неподвижным за счет работы сил трения покоя. По мере движения штока, свободный ход тяги пружинного механизма выбирается и происходит перемещение корпуса пружинного механизма, приводящее к преодолению пружины сил трения покоя между клином и корпусом задвижки, при этом выпускное отверстие задвижки полностью открывается.

Давление в скважине падает, соответственно происходит обратная фильтрация жидкости из массива под действием градиента давления. Движущаяся жидкость выталкивает кольматационные пробки и отмывает каналы и трещины прискважинной зоны, обеспечивая свободный выход газа из массива в скважину.

По окончании процесса обратной фильтрации шток гидрораспределителем переводится в положение, при котором задвижка закрывается и вся система возвращается в первоначальное положение.

Время открывания выпускного отверстия задвижки, не превышающее $0,5$ с, позволяет создать на границе «вода-массив» градиент давления, необходимый для эффективной очистки прискважинной зоны от кольматации.

Динамика газовыделения из экспериментальной скважины в первый месяц ее работы представлена на рисунке 2. К концу месяца дебит скважины составлял $2540 m^3/сут$.

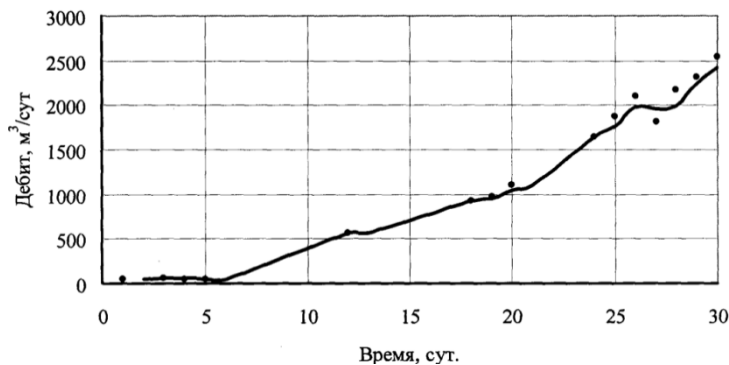


Рисунок 2 – Динамика начального газовиделения из скважины

В скважине за период ее работы признаков колюматации не наблюдалось. Скважина была подключена к системе газопроводов шахты им. А.Ф. Засядько снабжающей потребителей: миниэлектростанцию КРЭС, заправку автомобилей и шахтную котельную.

Эксплуатация средств потребления газа требует специальных условий, поэтому качество и давление газа диктуется потребителем. Однако замеры параметров выделяющихся газов, выполненные во время профилактических отключений скважины от газопровода, показывают, что дебит достигает $100000 \text{ м}^3/\text{сут}$, а давление газа в скважине повышается до 7 атм .

Выводы

1. Подтверждена эффективность применения пневмогидрадинамического воздействия через скважины, пробуренные на угольный пласт через породы почвы, для интенсификации дегазации отрабатываемых угольных пластов.
2. Использование метана в промышленных целях уменьшает объемы его выброса в окружающую среду. При этом исключается ухудшение состава и качества атмосферы, уменьшается разрушение озонового слоя и уменьшаются условия для возникновения парникового эффекта.
3. Проведенная дегазация угольных пластов обеспечивает безопасность их отработки.

Список литературы

1. Воробьев Е.А. Нетрадиционные способы предотвращения выбросов и добычи угля / Е.А. Воробьев, К.П. Калфанчян, К.К. Софийский. – М.: Надра, 1994. – 191 с.
2. Воробьев С.О. Напрямки поліпшення екологічних параметрів на території центрального району Донбасу / С.О. Воробйов, М.О. Ніколенко // Вісті автомобільно-дорожнього інституту: науково-виробничий збірник / ДВНЗ «ДонНТУ» АДІ. – Горлівка, 2007.– № 2 (7). – С. 117–129.

Рецензент: д.т.н., проф. С.П. Висоцький, АДІ ДВНЗ «ДонНТУ».

Стаття надійшла до редакції 12.12.11
© Воробьев Е.А., к.т.н., Шустова Д.В. 2011