

Канд. техн. наук П. Е. Филимонов,
д-р техн. наук Б. В. Бокий,
канд. техн. наук И. А. Ефремов,
инж. В. В. Чередников
(АП «Шахта им. А. Ф. Засядько»,)
д-р техн. наук К. К. Софийский
(ИГТМ НАН Украины)

**ПРИМЕНЕНИЕ ПНЕВМОГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО
ВОЗДЕЙСТВИЯ НА УГЛЕПОРОДНЫЙ МАССИВ ЧЕРЕЗ
ПОВЕРХНОСТНЫЕ ДЕГАЗАЦИОННЫЕ СКВАЖИНЫ ДЛЯ ДОБЫЧИ
МЕТАНА УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ**

Розглянуто проблеми й перспективи виділення метану через поверхневі дегазаційні свердловини. Викладено результати експериментальних робіт на ОП «Шахта ім. О. Ф. Засядько» по застосуванню пневмогідродинамічної дії на підроблений та непідроблений масиви. Визначено умови розкольматациї присвердловинної зони і тривалого стійкого газовиділення через поверхневі дегазаційні свердловини з вуглепородного масиву.

**AN APPLICATION OF PNEUMOHYDRODYNAMIC ACTION ON COAL
ROCK ARRAY THROUGH SURFACE DEGASEOUS HOLES FOR OUTPUT
OF METHANE FROM COAL DEPOSITS**

Problems and prospects of methane emission through surface degaseous holes are considered. The results of experimental works on «Mine named after A.F. Zasyad'ko» about application of the pneumohydrodynamic action on the underworking and ununderworking arrays are expounded. The conditions of mud injection of around hole area and continous stable gas emission through surface degaseous holes from coal rock array are defined.

В настоящее время на шахте им. А. Ф. Засядько накоплен достаточный опыт извлечения метана из опережающих дегазационных скважин, пробуренных с поверхности на подрабатываемый горный массив, которые в начале своей работы осуществляют текущую дегазацию, а в дальнейшем способствуют дегазации выработанного пространства (включая подработанный и наработанный углепородный массив).

Для интенсификации газовыделения через поверхностные скважины представляется наиболее простым, эффективным и экологически чистым способ пневмогидродинамического воздействия (ПГДВ) разработанный Институтом геотехнической механики им. Н. С. Полякова НАН Украины совместно с АП «Шахта им. А. Ф. Засядько» [1]. Способ разработан на основе гидродинамического воздействия (ГДВ) на углепородный массив, который успешно применяется при проведении ряда горных работ как эффективный способ интенсификации газовыделения и снижения выбросоопасности через подземные скважины [2, 3].

Применение ГДВ в условиях поверхностных дегазационных скважин (ПДС) не представляется 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 должен превышать 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, что, в конечном итоге, снижает величину градиента давления внутри массива и возможность очистки фильтрационных каналов.

Тем не менее, учитывая успешные результаты ГДВ, исследование эффективности применения ПГДВ на углепородный массив с целью повышения газовыделения шахтного метана представляется вполне обоснованным, так как для очистки фильтрационных каналов от кольтации величины разности давлений нагнетания воды в массив и её сброса должно быть достаточно для создания знакопеременного движения воды в массиве с высокой скоростью обратной фильтрации. Работы по исследованию эффективности ПГДВ с целью повышения газовыделения и увеличения сроков функционирования поверхностных скважин производятся на шахте им. А. Ф. Засядько, где осуществляется попутная добыча метана, часть которого утилизируется. Основными проблемами этой работы является низкая газоотдача и короткий срок работы ПДС, вызываемых кольтацией прискважинной зоны.

Во время бурения ПДС в прискважинной зоне образуется сеть концентрических и радиальных трещин, образующих фильтрационную систему, достаточную для транспортирования газа из подрабатываемого массива в скважину. Однако, применяемый для бурения, глинистый раствор заполняет фильтрационные каналы, создавая устойчивые кольтационные образования, что блокирует движение газа.

ПГДВ в отличие от ГДВ не предусматривает разрушения углепородного массива, его задачей является освобождение фильтрационной системы прискважинной зоны от кольтационных образований. Принцип воздействия тот же, что и для гидродинамического – знакопеременная фильтрация жидкости (воды) в обрабатываемой зоне массива. Основным отличием ПГДВ от ГДВ состоит в том, что знакопеременные нагрузки создаются изменением давления сжатого воздуха на столб воды находящейся в нижней части скважины. В этом случае время сброса давления жидкости в массиве зависит от скорости выхода сжатого воздуха из скважины, что отличается от параметров гидродинамического воздействия.

Кроме того, давление на массив на уровне перфораций содержит две составляющие: статическую, образованную столбом жидкости в скважине и динамическую, образованную нагнетанием и сбросом давления в скважине. Максимальное статическое давление столба жидкости на дно скважины при его высоте 300 м составляет 3 МПа, минимальное при уровне воды над уровнем перфорации 30 м составляет 0,3 МПа. При ПГДВ необходимо не превышать уровень воды в скважине более чем до 300 м, для того, чтобы статическая составляющая давления не повышала давление сброса в скважине при ПГДВ.

Согласно закону Дарси скорость фильтрации определяется следующей зависимостью:

$$V = \frac{k(P_{\text{НАГН.}} - P_{\text{СБР.}})}{a\mu};$$

а время обратной фильтрации жидкости определяется по формуле

$$t_{\phi} = \frac{\mu a^2}{k(P_{\text{НАГН.}} - P_{\text{СБР.}})},$$

где $P_{\text{НАГН.}}$ – давление нагнетания МПа; $P_{\text{СБР.}}$ – давление сброса жидкости, МПа; a – глубина проникновения жидкости в массив при нагнетании, м; k – коэффициент проницаемости, м^2 ; μ – вязкость жидкости, Па с.

Для установления основных закономерностей ПГДВ на массив были использованы экспериментальные данные, полученные при обработке скважин.

В результате использования закона Дарси для изучения закономерностей процесса фильтрации при ПГДВ были установлены динамика изменения проницаемости массива, скорость обратной фильтрации, а также изменение времени обратной фильтрации (табл. 1).

Таблица 1 – Параметры ПГДВ на углепородный массив

№ циклов	$P_{\text{НАГН.}}$, МПа	$P_{\text{СБР.}}$, МПа	ΔP , МПа	Время обратной фильтрации, с	Коэффициент проницаемости, $\text{м}^2 k \cdot 10^{14}$	Скорость обратной фильтрации, м/с $V \cdot 10^3$	Длина обратной фильтрации, м
1	5,00	4,50	0,50	85	23,0	11,75	1,00
2	4,50	4,00	0,50	80	25,0	12,50	1,00
3	4,00	3,40	0,60	80	20,8	12,48	1,00
4	3,40	3,00	0,40	79	31,6	12,64	1,00
5	4,55	4,05	0,50	70	28,6	14,30	1,00
6	4,05	3,50	0,55	63	31,8	15,90	1,00
7	5,00	4,40	0,60	64	35,7	21,42	1,37
8	4,40	4,00	0,40	62	40,2	16,08	0,99
9	4,00	3,50	0,50	44	45,6	22,80	1,03
10	5,50	5,00	0,50	44	49,1	24,55	1,06
11	5,00	4,40	0,60	44	56,4	33,84	1,49
12	4,40	3,80	0,60	36	69,7	41,82	1,50

На рисунке 1 представлены кривые изменения коэффициента проницаемости массива и скорости обратной фильтрации в течение пневмогидродинамической обработки. Очевидно, что оба показателя повышаются практически синхронно по мере образования водо-глинистых взвесей и выноса их за пределы фильтрационной системы в скважину. Следует отметить достаточно большие скорости обратной фильтрации, позволяющие эффективно размывать кольма-

тационные пробки. Расчет показал, что длина пути, проходимая жидкостью при сбросе давления, составляет 1 м и более, таким образом, водо-глинистая взвесь, двигаясь в направлении к скважине выносятся из массива.

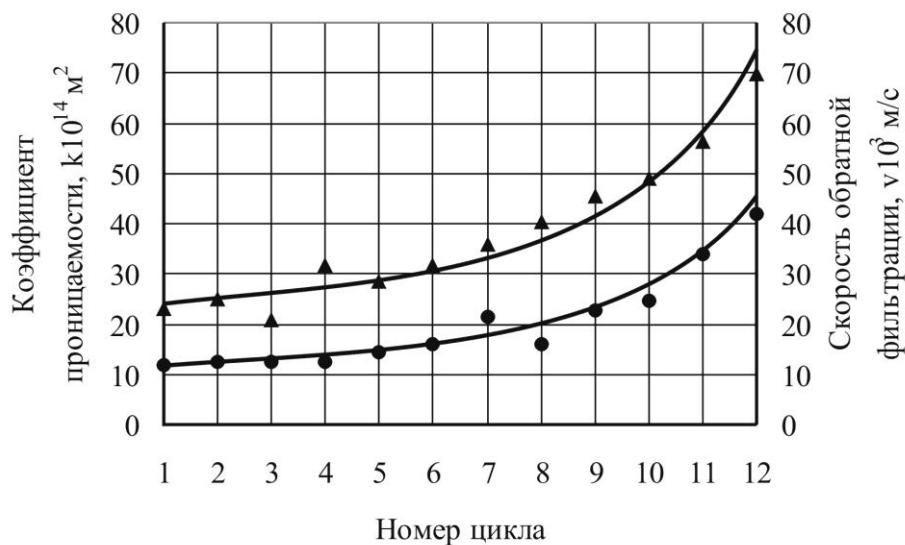


Рис. 1 – Динамика изменения коэффициента дегазации и скорость обратной фильтрации по мере пневмогидродинамического воздействия

При воздействии время обратной фильтрации уменьшается. Следует обратить внимание, что показатель времени постепенно стремится к выполаживанию. Этот факт может свидетельствовать о том, что по мере вымывания глины из фильтрационных трещин структура массива стабилизируется, дальнейших изменений не происходит, что обуславливает и стабилизацию времени обратной фильтрации (рис. 2).

Выполаживание значений времени обратной фильтрации может служить сигналом о том, что фильтрационная система каналов прискважинной зоны очищена от кольтационных образований и обработка массива может быть завершена. В результате анализа процесса ПГДВ могут быть даны некоторые рекомендации по порядку его проведения. В частности, сброс давления следует производить путем открывания задвижки на МТП, при закрытых НКТ, так как высокое давление и низкая скорость его сброса на НКТ увеличивает время сброса в массиве.

Разность $P_{\text{НАГН.}} - P_{\text{СБР.}}$ следует удерживать постоянной 0,4-0,6 МПа. Давление в массиве после сброса не следует опускать ниже 2-3 МПа, т.е. ступенчатый сброс давления должен быть следующим: 5 МПа; 4,5 МПа; 4,0 МПа; 3,5 МПа; 3,0 МПа. После повторения одних и тех же значений времени обратной фильтрации в течение нескольких сбросов давления при одинаковой разности $P_{\text{НАГН.}} - P_{\text{СБР.}}$ воздействие можно заканчивать.

Институтом геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАНУ совместно с шахтой им. А.Ф. Засядько проводятся экспериментальные работы по инициированию выделения шахтного метана через ПДС с применением ПГДВ.

Место проведения экспериментальных работ выбрано с расчетом возможности изучения газовыделения из ПДС в условиях как подработанного, так и неподрабо-

танного массива. Применяемое оборудование позволяет варьировать параметрами воздействия и определять наиболее эффективные. Проведены экспериментальные работы по ПГДВ на пласт m_3 шахты им. А.Ф. Засядько через скважины МТ-336 и МТ-338 (подроботанные), а также Щ-1355, МС-598 и 1185-Д (не подроботанные). Из скважин МТ-336 и МТ-338 газовыделение началось сразу после воздействия и в течение двух-трех месяцев достигло максимального дебита и достаточного давления. МТ-336 работает более 6 лет, МТ-338 – более 5 лет, объем газовыделения за время работы соответственно составил 15,5 млн. м³, и 28,5 млн. м³. Воздействие через скважину Щ-1355, расположенную на неподроботанном массиве, сразу не дало результата. Экспериментальные работы были повторены, когда очистной забой находился в 100 м от забоя скважины, однако газовыделения достигнуто не было. И только через 2 месяца, когда очистной забой лавы пересек забой скважины, без дополнительных мероприятий началось газовыделение, скважина была подключена к газопроводу. То же явление наблюдалось и на скважине МС-598: несмотря на то, что пневмогидродинамическая обработка проводилась за 2 года до пересечения скважины очистным забоем, из скважины началось интенсивное газовыделение. Все пять экспериментальных скважины подключены к шахтному газопроводу и продолжают функционировать.

Экспериментальные работы показали, что в результате ПГДВ происходит полная расколматация прискважинной зоны, образование устойчивой фильтрационной системы, способной транспортировать газ из массива за пределы скважины, независимо от того, как давно производилось воздействие. Обязательным условием начала газовыделения из скважины является подроботка скважины очистным забоем.

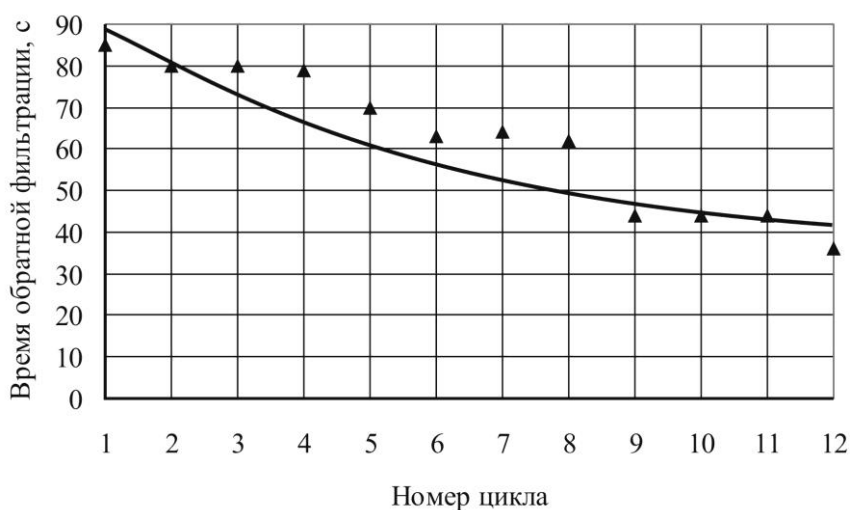


Рис. 2 – Изменение времени обратной фильтрации при ПГДВ

В таблице 2 представлены результаты работы скважин, на которых была проведена пневмогидродинамическая обработка, при этом МТ-336 и МТ-338 воздействие производилось на подроботанный массив, а Щ-1355, МС-598 и 1185-Д – на неподроботанный массив.

Отличие этих скважин в сроках работы объясняется тем, что первая пара начала работать сразу после ПГДВ на подроботанный массив, а остальные – по-

сле того как начались очистные работы в лавах, на которых они были расположены и очистной забой пересек забой скважин.

Таблица 2 – Сведения о работе дегазационных скважин после ПГДВ пробуренных на массив, подрабатываемый выработками по пласту m_3

№ п/п	№№ скважин	Глубина, м	Добыто метана, млн. м ³	Среднесуточный дебит, тыс. м ³	Количество работы, суток	Примечание
1	МТ-336	1267	22,0	10,2	2156	Работу начала 10.04 Газовыделение продолжается
2	МТ-338	1268	41,6	21,4	1946	Работу начала 04.05 Газовыделение продолжается
3	Щ-1355	1330	7,5	7,1	1061	Работу начала 09.07 Газовыделение продолжается
4	МС-598	1341	20,1	24,5	821	Работу начала 14.05.08 Газовыделение продолжается
5	1185-Д	1356	7,3	17,15	423	Работу начала 18.06.09 Газовыделение продолжается
Всего:			98,5		6407	

Скважина МТ-336 проработала 2156 суток (на 01.08.2010) и функционирует в настоящее время. Среднесуточный дебит её составляет 10,2 тыс. м³ и за время работы добыто 22,0 млн. м³ газа.

Скважина МТ-338 проработала 1946 суток (на 01.08.2010), среднесуточный дебит составил 21,4 тыс. м³/сут., всего добыто 41,6 млн. м³/сут.

Скважина Щ-1355 включилась в работу после пересечения её забоем лавы, в настоящее время она функционирует в течение 1061 суток (на 01.08.2010), среднесуточный дебит - 7,1 тыс. м³/сут., всего на сегодняшний день добыто 7,5 млн м³ газа.

Скважина МС-598 включалась в работу через 2 года после пневмогидродинамического воздействия, так же после пересечения её очистным забоем. Скважина проработала 821 сутки (на 01.08.2010), среднесуточный дебит равняется 24,5 тыс. м³, всего добыто метана – 20,1 млн. м³.

Скважина 1185-Д включилась в работу 18.06.09. и до настоящего времени проработала 423 суток (на 01.08.2010), среднесуточный дебит – 17,150 м³/сут., всего добыто метана – 7,3 млн. м³.

Всего из экспериментальных скважин добыто 93,6 млн. м³ газа, они продолжают нормально работать.

На всех экспериментальных скважинных газовыделение продолжается.

Сравнительный анализ результатов работы ПДС при проведении ПГДВ и ранее проводимых шахтой мероприятий позволяет сделать следующие выводы.

Инициирование процесса газовыделения через ПДС при применении ПГДВ возможно только в условиях подработанного массива, т.е. в данном случае речь может идти о попутной добыче угля и газа. Добыча газа из неподработанных массивов требует иных способов воздействия (гидроразрыв с последующим созданием специальных нагнетательных камер для газа и т.д.).

Применение ПГДВ, предполагающее знакопеременные нагрузки при движении воды в прискважинной зоне, позволяет не только размыть глинистые образования но и полностью удалить их из фильтрационных каналов, транспортирующих газ из подработанной зоны в скважину. Это подтвердили экспериментальные работы на всех скважинах: за время эксплуатации явление коагуляции ни разу не наблюдалось.

Метан добываемый на шахте им. А. Ф. Засядько через ПДС используется для обогрева в котельных, для получения электроэнергии, а также для заправки автомобилей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Булат А. Ф. Концепция комплексной дегазации углепородного массива для условий шахты им. А. Ф. Засядько / А. Ф. Булат // Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. тр. / Ин-т Геотехнической механики НАН Украины. – Днепропетровск, 2002. – Вып. 37. – С. 10 – 17.

2. Научное открытие № 123. Закономерность разрушения пористых газонасыщенных тел при циклическом гидродинамическом воздействии / К. К. Софийский, Е. Г. Барадудин, Э. И. Мучник [и др.] // Научные открытия: Сборник кратких описаний. – 1999. – Выпуск 2. – М.-Санкт-Петербург. – 2000. – С. 36 – 38.

3. Результаты экспериментальных работ по раскоагуляции и повышению дебита поверхностной дегазационной скважины МТ-336 пневмогидродинамическим воздействием / Б. В. Бокий, В. В. Чередников, К. К. Софийский [и др.] // Импульсные процессы в механике сплошных сред: Материалы VI Международной науч. школы-семинара (22-26 августа 2005). – Николаев, 2005. – С. 65 – 66.