

5. Надутый В.П. Определение равновесного состояния тонкого слоя смачивающей жидкости в квадратной ячейке сита грохота / В.П. Надутый, В.И. Елисеев, В.И. Луценко, И.П. Хмеленко // Вісник ХПІ. – Харьков, 2010 – № 66. – С.3-7.

УДК 622.324.5: 532.5.013: 621.5: 622.831.325.3.016.25

П.Е. Филимонов, к.т.н.;  
Б.В. Бокий, д.т.н.;  
И.А. Ефремов, к.т.н.  
(АП "Шахта им. А.Ф.Засядько");  
А.С. Пригунов, д.т.н. (ГВУЗ «НГУ»);  
К.К. Софийский, д.т.н.;  
Р.А. Агаев, вед. инж.  
(ИГТМ НАН Украины)

**ДОБЫЧА МЕТАНА УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПУТЕМ  
ПРИМЕНЕНИЯ ПНЕВМОГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО  
И ПНЕВМОДИНАМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ  
ЧЕРЕЗ ПОВЕРХНОСТНЫЕ ДЕГАЗАЦИОННЫЕ СКВАЖИНЫ  
НА УГЛЕПОРОДНЫЙ МАССИВ**

Розглянуто проблеми та перспективи газовиділення метана через поверхневі дегазаційні свердловини (ПДС) при застосуванні пневмогідродинамічної та пневмодинамічної дії. Викладені результати експериментальних робіт на ОП «Шахта ім. А.Ф. Засядька» при застосуванні цих способів на підроблений і непідроблений масиви. Встановлено принципіальна можливість видобутку метана та встановлені умови декольматації присвердловинної зони, а також тривалого стійкого газовиділення через ПДС з вуглепородного масиву

**PRODUCTION OF METHANE OF COAL DEPOSITS  
APPLICATIONS OF PNEUMOHYDRODYNAMIC  
AND PNEUMODYNAMIC INFLUENCE THROUGH SURFACE  
METHANE DRAINAGE BOREHOLES ON MINING A MASSIF**

Problems and outlooks of a gas emission of methane through surface methane drainage boreholes with application pneumohydrodynamic and pneumodynamic affecting are reviewed. Results of the experimental operations on rent company «Mine of A.F.Zasjadko» on application pneumohydrodynamic and pneumodynamic affecting on the snubed and not snubed massifs are stated. It is erected the basic possibility of extraction of methane and requirements demudding around surface methane drainage boreholes zones, and also the long-term inconvertible gas emission through surface methane drainage boreholes from mining a massif are instituted

В настоящее время современное состояние энергетической безопасности Украины находится не на благополучном уровне. На протяжении последних лет, все больше обостряется ситуация с энергетическими природными ресурсами. Одним из способов достижения энергетической независимости Украины является добыча метана угольных месторождений.

Исходя из выше сказанного, Верховная Рада приняла законопроект №1123 "О газе (метан) угольных месторождений". Законопроект определяет правовые

принципы регулирования добычи и использования газа (метана) угольных месторождений в Украине. В нем, в частности, содержатся предложения относительно определения основных принципов государственной политики в сфере производства, стимулирования субъектов ведения хозяйства, которые добывают и используют газ (метан) угольных месторождений, путем освобождения до 1 января 2020 года от налогообложения прибыли, полученной от хозяйственной деятельности. Поэтому наличие законодательной и нормативной базы и подготовка кадров ведущейся в Национальном горном университете, должно, положительно повлиять на улучшение промышленной добычи метана в Украине.

Известно, что к перспективным территориям для добычи метана отнесены 12 геолого-промышленных районов площадью 16 тыс. км<sup>2</sup>, которые примыкают к Кальмус-Торецкой и Бахмутской котловинам. Согласно подсчетам геологов, прогнозные ресурсы только свободного газа в количестве 150 млрд м<sup>3</sup> связаны с мощными региональными песчаниками, 52% которого находится в интервале глубин 700-1200 м [1].

Для Донбасса наиболее высокими показателями открытой пористости и проницаемости до 500 мД характеризуются коллекторы первого типа в ряде участков Северного и Северо-Восточного Донбасса. Поэтому, вскрытие, в процессе бурения ПДС, указанных зон скважинами глубиной до 1500-1800 м, связано с сильным поглощением бурового раствора в продуктивные горизонты, чему способствует и пластовое давление газа, которое в условиях Донбасса, обычно ниже гидростатического. В связи с чем, происходит глубокое проникновение буровых растворов на большое расстояние от ствола скважины, что приводит к её кольтматации. Поэтому установление алгоритма пневмогидродинамического воздействия (ПГДВ) в ПДС позволит разработать способы добычи метана угольных месторождений.

Для построения математической модели рассмотрим уравнение движения и неразрывности потока жидкости, и уравнение смещений неразрывной твердой фазы [2-4].

$$\frac{dP}{dx_i} = \frac{\mu}{k} m(w_i - u_i);$$

$$\frac{dm}{dt} + \frac{d}{dx_i} mw_i = 0;$$

где  $\mu$ - динамическая вязкость жидкости, Па · с;  $k$  – проницаемость, мД;  $w_i$ - средняя (истинная) скорость движения жидкости, м/с;  $u_i$  - компонента скорости движения твердой фазы, м/с;  $m$  – пористость, %.

Исследуя эти уравнения и рассматривая фильтрацию капельной жидкости с относительно небольшим перепадом давлений, получено уравнение нелинейно-упругого режима фильтрации в сильно сцементированной пористой среде:

$$\frac{\partial P}{\partial t} = x \frac{\partial}{\partial x_i} \left\{ [1 + a(P - P_o)] \frac{\partial P}{\partial x_i} \right\};$$

где  $x = \frac{k_o}{\mu_o(ma_p + a_m)}$  – коэффициент пьезопроводности,  $\frac{Мд}{Па \cdot с}$ ;

$$a = a_k + a_p - a_\mu ;$$

где  $a_k, a_m, a_\mu, a_p$  – соответственно коэффициенты изменения проницаемости, пористости, вязкости и плотности.

Для решения задачи воспользуемся методом конечных разностей. Уравнения в частных производных заменяются системой алгебраических уравнений (уравнений в конечных разностях), и решение этой системы дает приближенные значения искомой функции в дискретных точках области с известной точностью [2].

Время фильтрации определяется следующим образом. Приняв  $L$ , можно рассчитать нормирующую величину по времени  $t_o$ :

$$t_o = \frac{\mu_o mL^2}{k_o P_c} ;$$

где  $P_c$  – давление сброса, МПа.

Граница фильтрующей жидкости достигает точки  $x^*=1(x=L)$  за 50 шагов по времени.

Шаг выбран следующим образом:

по пространству  $\Delta x^*=0,1$ ; по времени  $\Delta t^* = \frac{1}{6} \cdot 10^{-2}$ .

Учитывая размерности величин, получаем время ПГДВ:

$$T = \frac{10^3}{432} \cdot \frac{\mu_o mL^2}{k_o P_c}, \text{ час};$$

а также давление сброса

$$P_c = \frac{\mu_o mL^2}{k_o t_o}, \text{ МПа.}$$

Управление сбросом давления в ПДС осуществляется таким образом, чтобы столб жидкости не опускался ниже продуктивного горизонта. Сброс давления во времени должен производиться либо ступенчато, либо с высоким показателем выполаживания экспоненты, а периоды ступенчатого сброса рассчитываются в соответствии с выведенными формулами (рис.1).

Согласно теоретическим исследованиям процесса гидродинамического воздействия установлены основные параметры ПГДВ и разработан алгоритм управления процессом воздействия, что позволяет сформулировать способ ПГДВ. Сущность способа заключается в следующем, с земной поверхности бурится ПДС таким образом, чтобы забой скважины находился от пласта на рас-

стоянии равном его пяти мощностям (пример  $m_3$  шахты им. А.Ф. Засядько).

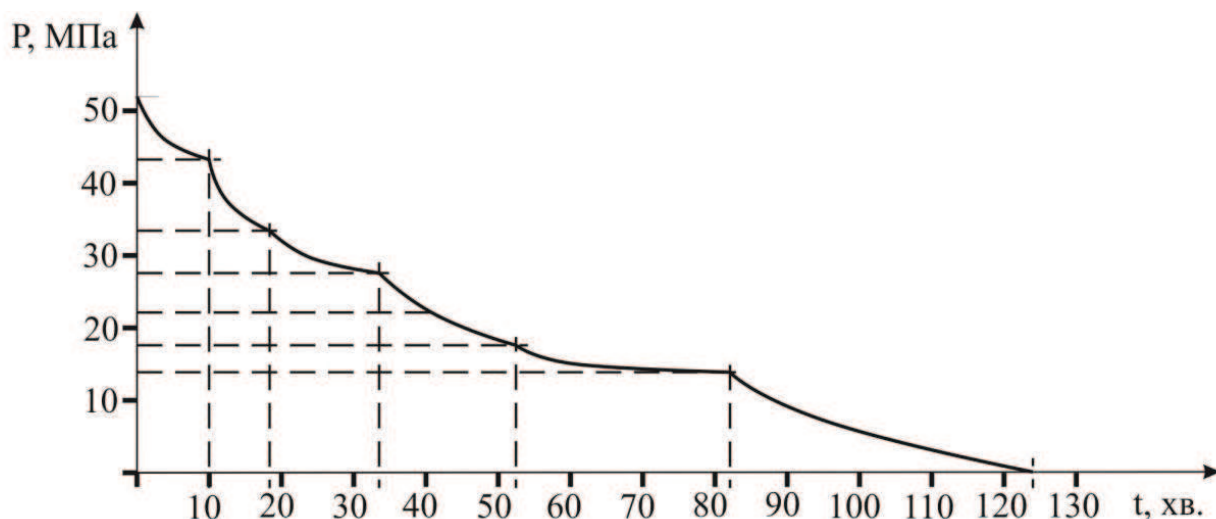


Рис. 1 - Зависимость сброса давления в ПДС от времени

По всей длине скважина обсаживается металлическими трубами с тампонажем затрубного пространства до зоны перфорации. На участке продуктивных горизонтов создается перфорация обсадных труб. ПДС заполняется водой на 30 м выше продуктивного горизонта. Устье скважины оборудуется устройствами ПГДВ. Компрессором создается в ПДС расчётное давление и осуществляется сброс его во времени не превышающем 45 мин., т.е. производятся знакопеременные нагрузки на закольматированный фильтрационный объём. В результате чего происходит активный вынос кольматационных материалов в ПДС, что способствует эффективному соединению прискважинного фильтрационного объёма с фильтрационным объёмом подрабатываемого массива [1].

Для проверки основных параметров процесса воздействия были проведены экспериментальные работы по ПГДВ на пласт  $m_3$  осуществлялись на поле шахты им. А.Ф. Засядько через ПДС МТ-336, МТ-338 (подработанные лавой) Щ-1355, МС-598, 1185Д и 1186Д (неподработанные лавой) (табл. 1). Из скважин МТ-336 и МТ-338 газовыделение началось сразу после воздействия и в течение 2-3 месяцев достигло максимального дебита. Дебит скважин соответственно составил 10,2 тыс. м<sup>3</sup> и 21,4 тыс. м<sup>3</sup> в сутки. Воздействие через ПДС Щ-1355, расположенную на неподработанном массиве, сразу не дало результата. Экспериментальные работы были повторены, когда очистной забой находился в 100 м от забоя ПДС и только через 2 месяца, когда очистной забой пересек забой ПДС, без дополнительных мероприятий, началось газовыделение. То же явление наблюдалось и на ПДС МС-598, 1185Д и 1186Д, где ПГДВ проводилось соответственно за 2 года, за 3 месяца и за 2 месяца до пересечения скважин очистными забоями. При этом установлено, что независимо от времени проведения ПГДВ газовыделение из ПДС начинается при приближении к ним очистных забоев на расстоянии до 30 м и после подработки массива на расстоянии от ПДС до 50 м. Дебит скважин соответственно составил 7,1; 24,5; 17,15 и 32,4 тыс. м<sup>3</sup> в сутки. Время сброса давления на каждой ступени составило 10-18 мин. Все 6

ПДС были подключены к шахтному газопроводу.

Таблица 1- Результаты работы ПДС после ПГДВ, пробуренных на массив, подрабатываемый выработками по пласту  $m_3$  (на 01.12.2010 г)

№ п/п	№ скважин	Глубина, м	Добыто метана, млн м <sup>3</sup>	Средне-суточный дебит, тыс м <sup>3</sup>	Кол-во работы, суток	Примечание
1	МТ-336	1267	20,76	10,2	2035	Работу начала 06.10.04г. Отключена с 01.08.10 подключена с 19.11.2010 Газовыделение продолжается
			0,014	1,17	12	
2	МТ-338	1268	43,48	21,4	2032	Работу начала 03.04.05г. Газовыделение продолжается
3	Щ-1355	1330	7,98	7,1	1125	Работу начала 01.10.07г. Газовыделение продолжается
4	МС-598	1341	22,68	24,5	926	Работу начала 14.05.08г. Газовыделение продолжается
5	1185Д	1356	9,03	17,15	527	Работу начала 18.06.09г. Газовыделение продолжается
6	1186Д	1290	1,58	32,4	49	Работу начала 23.08.10. Отключена с 11.10.10. Подключена 03.11.10 г. Газовыделение продолжается
			0,04	1,5	27	
Всего:			105,56		6733	

В том случае, когда ПГДВ осуществлялось на неподработанный горный массив и в результате прохождения лавы, и как следствие посадки основной кровли, скважины могут быть отрезаны. Дебит таких скважин, как правило, отсутствует, или значительно падает. Возможность применения ПГДВ становится невозможным, по причине невыполнения условия, что необходим уровень воды, который должен быть выше на 30 м от уровня перфорации. Это связано с тем, что из-за нарушения целостности призабойного пространства скважины и затрубного пространства и невозможности поддерживать необходимый уровень воды в ПДС. Поэтому было принято решение применение пневмодинамического воздействия (ПДВ).

Особенностью ПДВ на пористый, водогазонасыщенный угольный пласт является повышение фазовой проницаемости пласта для газа, независимо от режима внедрения воздуха в пласт, а также снижение сорбционной способности угля для метана за счет его нагрева теплым воздухом и вследствие химического реагирования кислорода воздуха с поверхностью пор и трещин [5].

Внедрение воздуха в пласт происходит как по естественным путям филь-



рации, так и по раскрывающимся естественным трещинам пласта. Раскрытие трещин происходит ввиду недостаточности фильтрующей способности пласта для пропуска всего подаваемого воздуха, что приводит к повышению давления и, как следствие этого, к раскрытию естественных трещин пласта, являющихся поверхностями ослабления массива.

Была предложена математическая модель [5] процесса пневмодинамического воздействия на газонасыщенный трещиновато-пористый породный массив и ставилась задача контроля технологических параметров, исходные физические предпосылки которой использовались для теоретического описания процесса:

- 1) воздействие осуществляется путем создания давления воздуха в скважине, пробуренной на определенную глубину в породном массиве, содержащем газ метан в сорбированном состоянии, с последующим его сбросом;
- 2) целью воздействия является активизация газовыделения из массива как средство его дегазации;
- 3) за счет воздействия воздуха, давление которого доводится до значительных величин, нарушается равновесие в системе «порода-воздух-метан» благодаря изменению сорбционных свойств массива, которые и вызывают усиление движения газа к обнаженной поверхности.

Таким образом, для подтверждения вышесказанного было проведено воздействие на две ПДС на участке шахты им. А.Ф. Засядько. Скважина Д-5 пробурена до глубины 1353 м, зона перфорации составляет 360 м. После прекращения выделения метана, скважина была отключена от системы газопровода. Для восстановления выделения метана, было принято решение воздействовать пневмодинамическим способом. Было произведено 10 циклов при которых в скважину закачивался воздух и давление достигало 5-7 МПа. Затем производился резкий сброс давления. В результате, концентрация метана в скважине после воздействия составила 8%.

ПДС 1186-Д пробурена до глубины 1290 м, зона перфорации составляет 350 м. Газовыделение с концентрацией 28,8-36,0 тыс м<sup>3</sup>/сут. при 100 % концентрации метана из скважины 1186-Д продолжалось до 10.10.2010 г., при этом лавы удалилась от нее на 110 м. С 11.10.2010 г. дебит из скважины упал до 0. После обрушения основной кровли и удалении лавы от дегазационной скважины на 200 м при ее нулевом дебите было принято решение о проведении ПДВ. Было осуществлено 3 цикла воздействия. В скважину нагнетался воздух до давления равного 5-7 МПа. В результате получили, что при первых циклах воздействия концентрация метана составила 4-6%, а максимальное давление в затрубном пространстве достигло 5,8 МПа. На вторые сутки ПДВ концентрация метана в скважине достигла устойчивого значения равное 6%, а в насосно-компрессорных трубах даже превысило 6%. На следующие сутки ПДВ концентрация метана в скважине составила 100%, а 02.11.2010г. суточный дебит метана из скважины достиг 1,5 тыс м<sup>3</sup>. С 03.11.2010г. скважина была подключена к системе газопроводов шахты им. А.Ф. Засядько. Общий объем добычи метана из ПДС 1186 Д на 01.01.2011г. составил 1,7 млн м<sup>3</sup>.

Всего добыто более 105 млн. м<sup>3</sup> метана.

Экспериментальные работы в промышленных условиях показали, что в результате применения ПГДВ и ПДВ происходит полная декольматация при-скважинной зоны, образование устойчивой фильтрационной системы, соединенной с фильтрационной системой выработанного пространства, способной транспортировать газ из массива за пределы скважины, независимо от того, как давно производилось воздействие.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Применение пневмогидродинамического воздействия на углеродный массив через поверхностные дегазационные скважины для добычи метана угольных месторождений / П.Е. Филимонов, Б.В. Бокий, В.В. Чередников, И.А. Ефремов, К.К. Софийский // Сб. научн. трудов.: «Геотехническая механика». – Днепропетровск, 2010. – № 87. – С. 34-41.
2. Чередников В.В. Теоретическое обоснование алгоритма управления процессом гидродинамического воздействия на газонасыщенный пористый массив в условиях шахты им. А.Ф. Засядько / В.В. Чередников, К.К. Софийский // Сб. научн. тр.: «Геотехнологии и управление производством XXI века»: материалы II Международной научно-практической конференции (2-3 окт. 2007 г). – Донецк, 2007. – С. 46-51.
3. Чередников В.В. Задача управления процессом пневмогидродинамического воздействия на газонасыщенный породный массив в условиях шахты им. А.Ф. Засядько / В.В. Чередников, К.К. Софийский, С.С. Сержников // Сб. научн. тр.: «Геотехнологии и управление производством XXI века»: материалы II Международно научно-практической конференции (2-3 окт. 2007 г). – Донецк, 2007. – С. 58-63.
4. Дегазация угольных пластов для промышленного использования шахтного метана / В.В. Чередников, Е.А. Воробьев, К.К. Софийский, Д.П. Силин, А.П. Петух, Э.И. Мучник // Сб. научн. тр.: Луганского национального аграрного университета. – Луганск: „Елтон-2”, 2008. – № 81. – С. 292-298.
5. Установление закономерностей процесса пневмодинамического воздействия / К.К. Софийский, П.Е. Филимонов, Р.А. Агаев // Сб. научн. трудов.: «Геотехническая механика». – Днепропетровск, 2010. – № 89. – С. 3-9.

#### УДК 539.3

Э.А. Ткаченко, д.ф.-м.н.; В.Н. Чехов, д.ф.-м.н. (институт механики им. С.П. Тимошенко НАН Украины)  
В.С. Гришин, к.т.н. (ДНМетАУ)

### МЕТОД ОЦЕНКИ КРАТКОВРЕМЕННОЙ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПОЛЗУЧЕСТИ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

В рамках моделі кусково-однорідного середовища на основі теорії короткочасної повзучості розглянуто метод оцінки високотемпературної повзучості елементів конструкції. Сформульовано загальну постановку задачі та побудована модель квазішаруватого елемента. Для в'язкопружних моделей середовищ отримано розв'язок конкретної задачі

### THE METHOD OF EVALUATION OF THE ELEVATED TEMPERATURE SHORT-TERM CREEP FOR STRUCTURAL ELEMENTS OF MINING-METALLURGY EQUIPMENT

Within the framework of the model of piecewise-homogeneous media on the base of short-term creep theory, the method of Evaluation of high temperature creep is considered. The general statement of the problem is formulated. Design model of quasi-layered element is built. The solution of particular problem is obtained for viscoelastic and elastoplastic models