



УДК 622.234.5



**К. К. СОФИЙСКИЙ,**  
доктор техн. наук



**Д. П. СИЛИН,**  
канд. техн. наук



**Р. А. АГАЕВ,**  
инж.



**В. В. ВЛАСЕНКО,**  
аспирант

## Комплексное освоение газоугольного месторождения с применением метода гидродинамического воздействия

*Изложены закономерности разрушения угольных пластов гидродинамическим воздействием, раскрыты явления спонтанного разрушения напряженного газонасыщенного массива и возникновения динамической пригрузки пласта, а также даны решения динамических задач, позволяющие представить процесс воздействия. Раскрыта сущность способов предотвращения газодинамических явлений и интенсификации притока метана в скважины, базирующихся на методе гидродинамического воздействия. Приведены данные о стадиях разработки и объемах применения этих способов.*

Наличие метана в угольных пластах и вмещающих породах – причина таких газодинамических явлений, как внезапные выбросы угля, газа и породы. Выполнение комплекса технических и организационных мер по предотвращению газодинамических явлений (ГДЯ) трудоемко, продолжительно и не всегда эффективно. Поэтому совершенствование существующих и создание новых способов предотвращения ГДЯ весьма актуально.

Другая сторона негативного влияния метана – выделение его в выработки, приводящее к остановкам забоев. Результат превышения предельно допустимых концентраций – загазирование выработок, взрывы метана и пожары. На поддержание допустимых концентраций метана затрачиваются значительные мощности вентиляторных установок. Часто не уда-

ется достичь нагрузки на очистные забои, которую позволяют существоющая техника и технология выемки угля. Таким образом, дегазация массива и выработанного пространства для уменьшения притока метана в атмосферу выработок также весьма актуальна.

Наличие в угленосных отложениях Донбасса 25,4 трлн м<sup>3</sup> метана [1] привело к тому, что этот регион стал рассматриваться как газоугольное месторождение, а метан – как полезное ископаемое. На сегодня приоритеты должны отдаваться способам и технологиям борьбы с выбросами и газовойделением, которые могли бы обеспечить попутную добычу метана с углем.

Использование метана для большинства энергетических установок возможно при концентрациях не ниже 30 – 40 %, при этом с определенным количеством метана концентрацией более 90 %. Метан добывают через скважины, пробуренные из подземных выработок и с дневной поверхности. Так как необходимых концентраций и количества метана не всегда удается достичь, то особо значимо создание способов и средств интенсификации притока метана в поверхностные и подземные дегазационные скважины.

Институт геотехнической механики разрабатывает способы и средства гидродинамического воздействия на напряженный газонасыщен-



ный массив в целях снижения его газодинамической активности. В результате реализован метод гидродинамического воздействия, физическая сущность которого заключается в приложении к свободным поверхностям газонасыщенного угольного вещества знакопеременных нагрузок нагнетаемой в пласт жидкостью (водой).

Экспериментально установлена закономерность разрушения пористых газонасыщенных тел при гидродинамическом воздействии, заключающаяся в том, что в процессе подачи рабочей жидкости в фильтрационном режиме в пористое газонасыщенное тело и последующего сброса давления возникает разрушающий градиент давления, вызывающий деформации растяжения, и при превышении предела прочности тела на разрыв его разрушение.

Установлено [2] явление спонтанного разрушения напряженного газонасыщенного массива при отделении слоя приконтурной разгруженной зоны циклическим гидродинамическим нагружением. Оно заключается в том, что после отделения слоя в массиве генерируется развитие вторичной пористости, обусловленное освобождением внутренней энергии массива и превышением скорости перемещения фронта образования этой пористости над скоростью процесса фильтрации. Кроме того, во время сброса давления возникает волна напряжения на контактах пласта с вмещающими породами, что приводит к динамической пригрузке пласта.

Решены динамические задачи, дающие представление о процессе воздействия. Подачу жидкости в газонасыщенный угольный пласт в фильтрационном режиме при давлении не более 7 МПа можно описать уравнением [3]

$$\frac{\partial P}{\partial t} = \frac{k_0}{3(1-m_0)} \frac{E}{1-2\nu} \times \left\{ 1 - \frac{1-2\nu}{E} [\gamma H(1+2\lambda) - 3P] \right\}^2 \frac{\partial^2 P}{\partial x^2} + \frac{\partial k(P)}{\partial x} \frac{\partial P}{\partial x},$$

- где  $k_0$  – коэффициент фильтрации пласта в свободном состоянии, м/с;
- $m_0$  – пористость пласта в свободном состоянии;
- $E$  – модуль продольной упругости;
- $\nu$  – коэффициент Пуассона;
- $\gamma$  – удельный вес вышележащих пород, Н/м<sup>3</sup>;
- $H$  – глубина залегания пласта, м;
- $\lambda$  – коэффициент бокового распора;
- $P$  – давление нагнетаемой жидкости, Па.

Решение задачи сброса давления жидкости позволило установить зависимости параметра  $\xi$ , характеризующего отношение реально достигаемого перепада давлений в угольном пласте к создаваемой разности давлений нагнетания  $P_n$  и сброса  $P_c$ , и параметра  $\eta$ , обуславливающего выполнение энергетического критерия разрушения угля (критерий выполняется при  $\eta > 1$ ), от времени сброса  $t$  давления (рис. 1). Также решена задача о напряженном состоянии пород и пласта при гидродинамическом воздействии с учетом их различных механических свойств

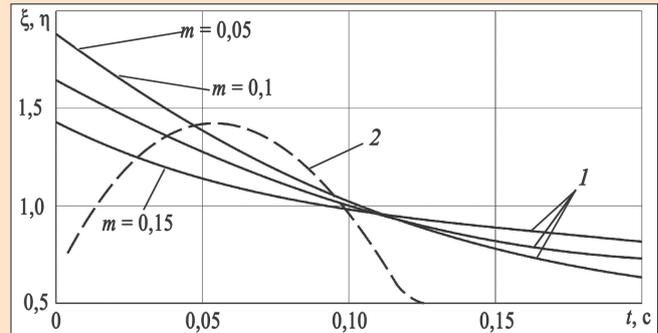


Рис. 1. Зависимости параметров  $\xi$  (1) и  $\eta$  (2) от времени  $t$  сброса давления (для различных значений пористости  $m$ ).

для разных условий на их контактах. Получены зависимости для определения дополнительных нормальных  $\sigma_y$  и касательных  $\tau_{xy}$  напряжений при сцеплении пласта с боковыми породами, наличии и отсутствии трения на контактах. Установлено, что возникающие при гидродинамическом воздействии динамические пригрузки составляют 1 – 5 МПа, а скорости нагружения пласта – 10 – 100 МПа/с.

Разработанный метод гидродинамического воздействия стал основой способов управления напряженным состоянием горного массива.

*Способ предотвращения газодинамических явлений при вскрытии крутых угольных пластов* [4]. Его суть состоит в бурении из вскрывающей выработки от двух до шести технологических скважин и выполнении гидродинамического воздействия до снижения значений пластового давления менее 1 МПа (рис. 2).

У данного способа ряд преимуществ перед другими противовыбросными мероприятиями: не имеет ограничений в области применения, высоконадежен, сокращает буровые работы, не требует сложного и уникального оборудования, обладает низкой металло- и энергоемкостью. За период внедрения способа на шахтах Центрального района Донбасса (ЦРД) осуществлено более 150 вскрытий без признаков ГДЯ. Ведутся работы по усовершенствованию способа для увеличения радиуса влияния технологических скважин и снижения их количества на шахтах ГП «Дзержинскуголь». С помощью гидродинамического воздействия через одну скважину на забой выполнено восемь вскрытий угольных пластов  $t_2$  и  $t_3$ .

*Способ предотвращения газодинамических явлений в нижней части полос, отрабатываемых щитовыми агрегатами* [4]. Из полевого откаточного штрека или промквершлага на угольный пласт бурят четыре технологические скважины и через них выполняется гидродинамическое воздействие до извлечения расчетного количества угля и достижения коэффициента дегазации обрабатываемой зоны более 0,45. Как следствие проведения работ на шахтах ЦРД предотвращены выбросы угля и газа в нижних, наиболее опасных частях этажей 16 лав на семи

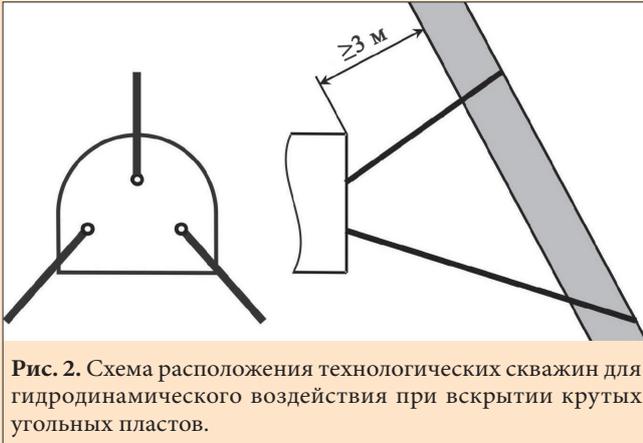


Рис. 2. Схема расположения технологических скважин для гидродинамического воздействия при вскрытии крутых угольных пластов.

пластах. В настоящее время способ используется на шахте им. Ф. Э. Дзержинского.

Способ снижения газодинамической активности нижней части крутых угольных пластов, отрабатываемых лавами с потолкоуступной формой забоя. Этот способ реализуется путем бурения из полевого откаточного штрека в нижнюю часть лавы одной или двух технологических скважин. Расстояние между скважинами по простиранию составляет от 20 до 50 м. Воздействие выполняется до извлечения из пласта не менее 1 % угля и до достижения коэффициента дегазации пласта не менее 0,45. Промышленные испытания способа осуществляются в ГП «Дзержинскуголь». Для оценки эффективности воздействия определяют зону разгрузки призабойной части пласта по динамике начальной скорости газовыделения из контрольных шпуров [4]. В результате проведения работ на пластах  $k_8$ ,  $l_2^1$ ,  $l_5$ ,  $l_7^B$  извлечено более 160 тыс. м<sup>3</sup> метана, что позволило дегазировать на 25 – 76 % нижние части лав общей площадью более 14,5 тыс. м<sup>2</sup>.

Способ снижения газодинамической активности в верхней части лав с потолкоуступной формой забоя. Для выполнения воздействия из вентиляционного штрека через каждые 20 – 50 м подвигания забоя на пласт бурится по одной технологической скважине и извлекается не менее 1 % угля из обрабатываемой зоны. Воздействие считается эффективным при коэффициенте дегазации пласта не менее 0,45. В результате экспериментальных работ на шахте им. Ф. Э. Дзержинского из пласта  $l_7^B$  (участок № 65) извлечено более 31 тыс. м<sup>3</sup> метана, обработанный участок площадью более 3 тыс. м<sup>2</sup> дегазирован с коэффициентом 0,3 – 0,7.

Способ предотвращения внезапных выбросов угля и газа при проведении пластовых выработок по крутым угольным пластам. Разработаны параметры воздействия и выполнены экспериментальные работы на шахтах ГП «Дзержинскуголь». Воздействие осуществляется через скважину, пробуренную из забоя проводимой выработки на пласт через породы кровли или почвы, до извлече-

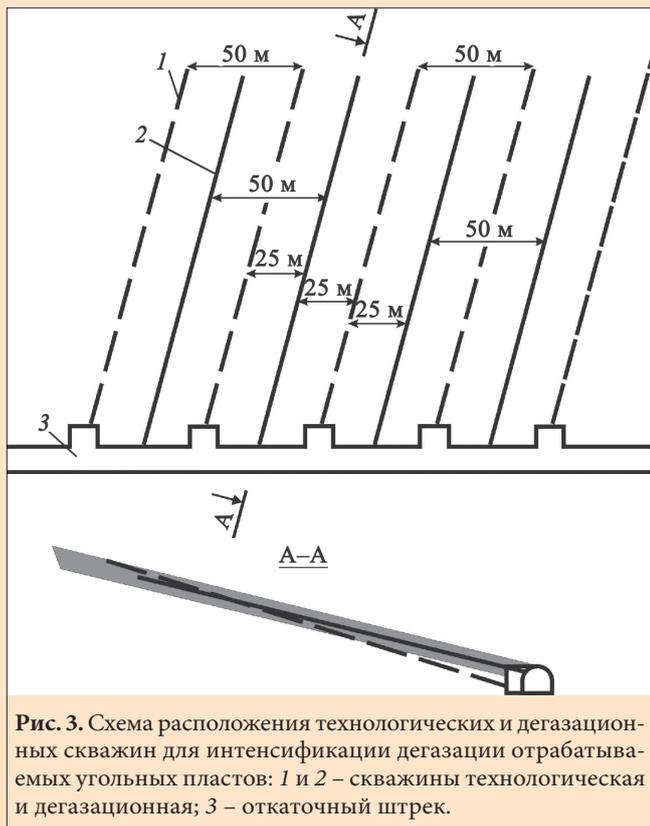
ния не менее 3 % угля из обрабатываемой зоны. Длина обрабатываемого участка одной скважиной не менее 16 м в направлении подвигания забоя. Как результат этих работ – в невыбросоопасное состояние приведено пять опасных зон общей протяженностью более 150 м [3].

Способ предотвращения внезапных выбросов угля и газа при проведении пластовых выработок по пологим угольным пластам. Обоснованы параметры воздействия и выполнены экспериментальные работы в ПАО «Шахта им. А. Ф. Засядько». Сущность способа заключается в бурении технологической скважины длиной до 100 м из забоя подготовительной выработки. По окончании воздействия и при проведении выработки осуществляется контроль эффективности. Воздействие считается эффективным, если из пласта извлечено не менее 1 % угля и коэффициент дегазации превышает 0,45. По методике МакНИИ оценивается равномерность обработки массива по мере подвигания забоя по параметрам акустического сигнала. При выполнении экспериментальных работ проведено более 260 м подготовительных выработок без признаков газодинамических явлений [5].

Таким образом, установленные закономерности разрушения угля при гидродинамическом воздействии позволили разработать метод воздействия, сущность которого заключается в бурении на угольный пласт через породную пробку технологических скважин, обсадке их металлическими трубами, герметизации затрубного пространства цементно-песчаным раствором и выполнении в течение 4 – 10 ч гидродинамического воздействия. Для реализации метода на базе серийно выпускаемого отечественного оборудования разработано устройство гидродинамического воздействия. В результате воздействия обрабатываемый пласт приходит в невыбросоопасное состояние за счет извлечения расчетного количества угля, образования вторичной пористости, изменения напряженно-деформированного состояния и его дегазации.

В 2002 г. предложена концепция комплексной дегазации углепородного массива [6], заключающаяся в бурении скважин из подземных выработок на угольный пласт и газонасыщенные песчаники, а также вертикальных скважин с земной поверхности. Это позволяет наиболее полно извлечь метан из массива и, с одной стороны, повысить безопасность горных работ, а с другой – увеличить объемы и концентрацию добываемого газа.

В рамках реализации этой концепции на базе метода гидродинамического воздействия разработан способ интенсификации дегазации угольных пластов. Сущность его заключается в следующем. Из штрека параллельно линии очистного забоя бурят технологическую скважину. Ее длина по породе составляет не менее 10 м. Бурение по пласту осуществляют на длину до 100 м. По простиранию технологические скважины располагают на расстоянии 50 м одна от другой. Между ними целесообразно бурение дегазационных скважин (рис. 3). Через технологические скважины



**Рис. 3.** Схема расположения технологических и дегазационных скважин для интенсификации дегазации отрабатываемых угольных пластов: 1 и 2 – скважины технологическая и дегазационная; 3 – откаточный штрек.

заблаговременно до подхода лавы извлекается до 1 – 2 % массы угля, залегающего в зоне обработки, или до снижения активности динамических процессов на 40 % их максимальных значений, фиксируемых аппаратурой АПСС-1.

Экспериментальные работы по интенсификации дегазации пологих угольных пластов проведены в ПАО «Шахта им. А. Ф. Засядько» и СП «Шахтоуправление «Суходольское-Восточное» и доказана эффективность использования гидродинамического воздействия. Длина обработанных участков по ходу движения лав составила более 900 м. Суммарное количество извлеченного метана через 23 технологические и 15 дегазационных скважин превысило 500 тыс. м<sup>3</sup>. Степень дегазации пластов составила 30 – 46 %; максимально достигнутый коэффициент дегазации 0,68 (коэффициент дегазации в среднем увеличился в 3,7 раза по сравнению с естественной дегазацией). В результате воздействия снизилась концентрация метана в исходящей струе лавы и участка в 1,6 – 1,8 раза. При выемке угля в обработанных зонах не зафиксировано остановок лавы по газовому фактору. По прогнозу внезапных выбросов угля и газа сигнал «Опасно» в обработанных зонах не выдавался (в необработанных – выдавался один раз каждые 33,3 м подвигания лавы).

Для реализации концепции комплексной дегазации массива через поверхностные дегазационные скважины на базе метода гидродинамического воздействия разра-

ботан способ интенсификации газовыделения с применением пневмогидродинамического воздействия. Сущность способа заключается в следующем. Поверхностную дегазационную скважину заполняют водой на 30 – 80 м выше уровня перфорации и опускают в нее насосно-компрессорные трубы. С помощью компрессора в скважине создается расчетное давление, после достижения которого осуществляется сброс воздуха в атмосферу. Таким образом производятся знакопеременные нагрузки на закольматированный фильтрационный объем горного массива. Вследствие этого кольматационные материалы выносятся из пор и трещин массива в ствол скважины, что способствует соединению фильтрационного объема подрабатываемого массива с дегазационной скважиной.

В процессе выполнения экспериментальных работ по пневмогидродинамическому воздействию в ПАО «Шахта им. А. Ф. Засядько» обработано семь закольматированных скважин. Их дебит был повышен в среднем в 3 раза и достигал максимального – 32,4 тыс. м<sup>3</sup>/сут. Все скважины были подключены к шахтному газопроводу когенерационных станций, а срок службы повысился в 4,7 раза.

**Вывод.** Комплексное использование метода гидродинамического воздействия позволяет решить широкий круг проблем технологий подземной разработки угольных месторождений, включающий увеличение экономических показателей очистных и подготовительных работ в разных горно-геологических условиях, повысить безопасность труда, снизить выбросы метана в атмосферу и увеличить объемы его добычи.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Булат А. Ф. Создание индустрии шахтного метана в топливно-энергетическом комплексе Украины / А. Ф. Булат // Геотехническая механика. – 1998. – Вып. 10. – С. 3–8.
2. Научные открытия ученых Украины / Г. А. Андрощук [и др.]; под. общ. ред. Ю. С. Шемшученко; Ин-т государства и права им. В. М. Корецкого, Междунар. ассоц. авторов науч. открытий. – К.: Авантаж, 2004.
3. Силін Д. П. Розробка параметрів гідродинамічного способу запобігання раптових викидів вугілля і газу при проведенні пластових виробок: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.15.02 / Д. П. Силін. – Дніпропетровськ: ІГТМ НАНУ, 2001. – 19 с.
4. Правила ведення гірничих робіт на пластах, схильних до газодинамічних явищ: СОУ 10.1.00174088.011-2005 Мінвуглепром України. – К., 2005. – 225 с.
5. Золотін В. Г. Обґрунтування параметрів гідродинамічного способу запобігання газодинамічним явищам при проведенні підготовчих виробок змішаним вибоєм: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.15.02 / В. Г. Золотін. – Дніпропетровськ: ІГТМ НАНУ, 2011. – 19 с.
6. Булат А. Ф. Концепция комплексной дегазации углепородного массива для условий шахты им. А. Ф. Засядько / А. Ф. Булат // Геотехническая механика. – 2002. – Вып. 37. – С. 10 – 17.