

ГОРНОЕ ДЕЛО И ГЕОТЕХНОЛОГИИ

УДК 622.817.4

М.К. Ларин, М.А. Бирик, Д.И. Елкина

Сибирский государственный индустриальный университет

АНАЛИЗ СПОСОБОВ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ГАЗОВЫДЕЛЕНИЯ ИЗ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ

В современных условиях добыча угля подземным способом сопровождается отработкой газоносных угольных пластов с применением высокопроизводительного горно-шахтного оборудования, эффективность функционирования которого зависит от горно-геологических условий и ограничивается газовым фактором. Существенное значение для повышения объемов и безопасности добычи угля имеет совершенствование систем и средств дегазации угольных пластов, соответственно, уже при проектировании необходимо использовать информацию о газоносности угольных пластов, обуславливающую интенсивность поступления метана в горные выработки.

Дегазацию необходимо проводить с учетом полученных в процессе геологоразведочных работ прогнозных значений газоносности угля, а также уточнять эти данные при строительстве и эксплуатации шахты.

В Кузбассе коэффициент извлечения газа из угольных пластов составляет в среднем 0,15 – 0,17, а на шахтах, где проводится дегазация, – 0,23 – 0,26 [1]. Для оценки эффективности дегазации необходимо знать остаточную газоносность до и после проведения дегазации на подготовленном к отработке выемочном столбе. Исследования, испытания и измерения должны проводиться по существующим методикам с учетом требований по типовым методическим указаниям по испытаниям и измерениям.

В основе наиболее распространенных способов управления газовыделением из пластов – механизм воздействия на угленосную толщу с целью возникновения переходного процесса системы уголь – метан путем приложения механической или тепловой энергии. В результате повышается газопроницаемость угольного массива и формируется направленное движение десорбированного метана в дегазационные выработки и скважины [2].

Неразгруженный от горного давления угольный пласт представляет собой пористую природную систему, которая имеет замкнутые, изолированные друг от друга поры, и является газоносной нефилтующей средой. Разгрузка такой среды от горного давления приводит к увеличе-

нию проницаемости, появлению трещин и объединению их в фильтрационные каналы, что, в свою очередь, увеличивает количество десорбированного метана и выделение его в горную выработку или скважину. При этом учитывается, что наличие растворенного метана является фактором, способствующим росту трещин, так как он снижает эффективную трещиностойкость угля, разрывает микроструктурные связи при изменении напряженного состояния угольного скелета, а также уже в свободном состоянии участвует непосредственно в развитии трещины. Сорбированный газ обладает упругостью, ранее не учитываемой при анализе системы уголь – метан, а его наличие в угле в несколько раз уменьшает трещиностойкость.

Весь ряд существующих и разрабатываемых методов интенсификации процессов газовыделения из углей и угольных пластов можно разделить на три большие группы [3, 4]:

- методы, основанные на механическом дроблении угля, повышении его газопроницаемости и высвобождении адсорбированных газов, находящихся в макропорах;

- так называемые физико-химические методы, основанные на растворении неорганических минеральных компонентов угля или на вытеснении сорбированных газов поверхностно-активными веществами;

- методы воздействия, в которых деструкция системы уголь – газ осуществляется на молекулярном и надмолекулярном уровне (термобарогradientный и виброволновой (ультразвуковое и электромагнитное воздействие).

Значения энергии деструкции природной системы уголь – газ приведены в таблице [5].

Гидроразрыв угольных пластов рассматривается как процесс развития разрывных нарушений в элементах массива горных пород за счет изменения гидрогеомеханической ситуации при фильтрации жидкости под давлением. Для изучения задач фильтрации и разрушения массива преимущественно используется метод конечных элементов с применением процедуры фиктивных узловых сил.

Деструкции природной системы уголь – газ

№	Форма нахождения газа	Относительное содержание, %	Тип связи	Энергия деструкции		
				эВ/м	кДж/м	ккал/м
1	Свободный газ	5 – 6	Адгезионная	0,01 – 0,02	0,96 – 1,92	0,23 – 0,46
2	Сорбированный на поверхности и в макропорах	8 – 10	Физическая сорбция	0,1 – 0,2	9,60 – 19,20	2,30 – 4,60
3	Сорбированный в микропорах	20 – 25	Объемное заполнение	0,4 – 0,5	38,40 – 48,00	9,20 – 11,50
	Клатратные соединения	10 – 12	Хемосорбция	0,8 – 1,2	76,80 – 115,20	18,40 – 27,60
	Твердо-газовый раствор	40 – 50	Раствор внедрения	1,5 – 2,0	144,00 – 192,00	34,50 – 46,00
	Внутримолекулярное и надмолекулярное Ассоциаты	3 – 5	Химическое взаимодействие	3,5 – 4,0	334,00 – 384,00	80,00 – 90,00

Во время проведения мероприятий по осуществлению гидроразрыва в выбранном интервале скважины, при закачке в нее жидкости создается высокое давление. На первом этапе в призабойной зоне происходит расширение естественных трещин. Когда давление нагнетаемой жидкости превысило определенную величину, трещины соединяются, причем образование одних может приводить к закрытию других. В породах создается несколько широких трещин большой протяженности, то есть происходит гидравлический разрыв.

В исследованиях механических процессов, происходящих в горных породах при гидроразрыве, обычно рассматривается возникновение и развитие одиночной трещины при закачке нефилтующейся жидкости. Полагают, что закономерности гидроразрыва филтующейся жидкостью будут аналогичными. Трещины гидроразрыва зарождаются и развиваются в результате взаимовлияния гидродинамических и геомеханических сил. Закачка жидкости в определенном интервале скважины приводит к изменению гидростатического давления и гидродинамических сил вокруг скважины, что создает в породе вокруг нее дополнительные деформации и напряжения, при которых и происходит гидроразрыв. Деформирование и разрушение пород влияют на филтрационные процессы.

Особенностью процесса гидродинамического воздействия является приложение к свободным поверхностям угольного пласта знакопеременных нагрузок. Эти нагрузки создаются повышением и сбросом давления закачанной в пласт рабочей жидкости. При этом открытые поры угля заполняются водой (в трещинах и порах

происходит прямая филтрация, а поры с меньшими размерами заполняются жидкостью посредством сил капиллярного поднятия). Газ, находящийся в заполняемом жидкостью филтрующем объеме, вытесняется в глубь массива. При сбросе давления происходит резкое изменение в напряженном состоянии массива. Жидкость и вытесняющий ее газ перемещаются в сторону скважины. Однако скорость изменения давления на стенках скважины значительно превышает скорость обратной филтрации жидкости в поровом пространстве угля. В результате в пласте возникают силы, направленные на отрыв заполненного жидкостью слоя угля. Образование при отрыве этого слоя новых поверхностей вызывает десорбцию газа с этих поверхностей, что способствует дальнейшему разрушению пласта угля [6].

Следующая группа активных методов интенсификации выделения метана в угле породного массива основана на использовании камуфлетных (торпедирующих) взрывов малых зарядов взрывчатых веществ, размещаемых в дегазационных скважинах. Известно, что при таком воздействии на пласт возникает волна дробления, распространяющаяся от очага взрыва в окружающую среду и обеспечивающая развитие локальных очагов разгрузки, эффективный радиус которых зависит от мощности заряда, физико-механических свойств угля и вмещающих пород, конкретных геологоструктурных особенностей залегания пласта и других факторов.

При торпедировании скважин или взрывании камуфлетных зарядов в угольном пласте образуются зоны разгрузки и переуплотнения, что в два – три раза увеличивает интенсивность дега-

зации не только за счет повышения трещиноватости и газопроницаемости пород, но и в результате действия механизма «отсоса» газов в очаг взрыва, где формируется волна разрежения.

Эффективность торпедирования скважин или камуфлетного взрывания достаточно высока: газоотдача увеличивается до 55 – 60 %. Однако развитие этих методов сдерживается их высокой сложностью и трудоемкостью.

Перспективным воздействием для интенсификации газоотдачи угольных пластов, направленной на деструкцию микропоровых и надмолекулярных структур угольного вещества, следует принимать термобарогradientный способ воздействия на систему уголь – газ. Этот способ реализуется путем применения специального скважинно-бурового оборудования, обеспечивающего создание на скважинах забоя высоких перепадов давления и температуры. При этом наблюдаемые депрессионно-вакуумные эффекты вызывают образование постепенно продвигающихся в глубь угольного пласта зон разупрочнения-сжатия, активирующих деструкцию надмолекулярных структур угольного вещества и интенсивное выделение связанных газов. Несомненным преимуществом этого метода является возможность его применения не только для среднеметаморфизованных каменных углей, но и антрацитов, что существенно увеличивает количество возможных объектов для извлечения угольного метана. Интерес представляют развиваемые рядом исследователей способы интенсификации процессов дегазации, основанные на вибрационно-волновом воздействии на угольный пласт. В основе этих электрофизических способов лежит поэтапное «закачивание» в пласт энергии упругих деформаций с последующим или одновременным воздействием на молекулярные и надмолекулярные структуры угольного вещества средне- или высокочастотным электромагнитным излучением (от 60 Гц до 100 МГц).

Исходя из вышеизложенного можно заключить, что степень дегазации угольного пласта, а значит и скорость газовыделения из него определяются уровнем деструкции природной системы уголь – метан, для которой требуется определенная внешняя энергии в зависимости от формы нахождения в рассматриваемой системе газовой компоненты.

Технологии по увеличению газовыделения из угольного массива не позволяют установить однозначно критерии выбора вида техногенного воздействия на угольный пласт с целью увеличения его газовыделения. Это обусловлено тем, что критерии выбора вида техногенного воздействия на угольный пласт должны учитывать,

какой вид воздействия является оптимальным для конкретного угольного пласта, состоящего из угольного достигшего определенной степени метаморфизма вещества [7 – 12]. В работе [13] показана реакция природной системы уголь – газ на различные техногенные воздействия, а именно, силовое, тепловое и виброволновое. При этом все три вида внешнего воздействия исследованы как теоретически, так и экспериментально.

Исследования [13] показали, что методы внешнего воздействия эффективны в своей области изменения степени метаморфизма углей (тепловой – $V_t = 2 \div 42 \%$; силовой – $V_t = 2,0 \div 17,6 \%$; виброволновой – $V_t > 25 \%$), а в комплексе они перекрывают всю область известных значений степени метаморфизма углей от 2 до 42 %.

В качестве основных критериев выбора вида техногенного воздействия с целью повышения коллекторских свойств угольного пласта выбраны следующие:

- горно-геологические условия залегания угольного пласта;
- степень метаморфизма вещества угольного пласта;
- степень извлечения угольного метана в результате интенсификации газовыделения метана из угольного пласта после применения техногенного воздействия и возможность обеспечения требуемых дебитов угольного метана;
- энергетические затраты на реализацию техногенного воздействия;
- энергетические затраты на 1 м^3 добываемого угольного метана.

В ходе настоящего исследования получены следующие результаты:

- установлено, что методы воздействия на угольный массив, способствующие увеличению количества метана, заблаговременно добываемого из угольного месторождения, являются важным элементом технологии дегазации;
- наиболее перспективным путем увеличения добычи метана из неразгруженных пластов на больших глубинах являются трансформации структуры газоносного угольного вещества на высших уровнях строения;
- по результатам выполненного анализа рассмотренные методы интенсификации газовыделения из угольных пластов были разделены на три группы:

1 – методы, основанные на механическом дроблении угля, повышении его газопроницаемости и высвобождении адсорбированных газов, находящихся в макропорах;

2 – физико-химические методы, основанные на растворении неорганических минеральных

компонентов угля или на вытеснении сорбированных газов поверхностно-активными веществами;

3 – методы, основанные на высвобождении метана на молекулярном и надмолекулярном уровне (термобарогradientный и виброволновой).

Силовой вид воздействия наиболее эффективен для углей типа антрацитов, тощих и паровично-сжигающихся, то есть углей, имеющих $V_T = 4,0 \div 17,6 \%$.

При этом использование энергии гидроразрыва составляет менее 1 %; тепловое воздействие эффективно для степени метаморфизма углей 2 – 42 %; для достижения существенного эффекта (до 20 %) требуется, чтобы тепловое воздействие проводилось в сравнительно легко достижимом на практике диапазоне температур 40 – 800 °C; виброволновой вид воздействия обеспечивает дополнительный эффект интенсификации извлечения метана за счет воздействия на мезо- и макропоры угольного вещества, то есть этот вид воздействия дает наибольший эффект для мезопористых углей, к которым относятся угли с $V_T > 25 \%$.

Выводы. Рассмотренные методы внешнего воздействия на угольное вещество эффективны в своей области изменения степени метаморфизма углей (тепловой $V_T = 2,0 \div 42 \%$, силовой $V_T = 2,0 \div 17,6 \%$; виброволновой $V_T > 25 \%$), а в комплексе они перекрывают весь диапазон известных значений степени метаморфизма углей от 2 до 42 %.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Airey E.M. Gas emission from broken coal. An experimental and theoretical investigation // Int. J. Rock Mech. Pergamon Press. 1968. P. 475 – 494.
2. Walker P.L.Ir., Austin L.G., Nandi S.G. Chemistries and physics of carbon. Vol. 2. "Activated diffusion of gases in molecular materials". – Mercel Deccer, Ins., New York, 1966.
3. Анализ результатов исследований и промышленных экспериментов по применению искусственных воздействий на горный массив в целях интенсификации извлечения углеводородов из нефтяных, газовых и угольных месторождений. – М.: изд. МГТУ, 1998. – 100 с.
4. Угольная база России. Т. II. Угольные бассейны и месторождения Западной Сибири (Кузнецкий, Горловский, Западно-Сибирский бассейны; месторождения Алтайского края и Республики Алтай). – М.: ООО «Геоинформцентр», 2003. – 604 с.
5. Алексеев А.Д., Молчанов А.Н. Физическое состояние метана в ископаемом угле в аспекте его извлечения // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2010. Отд. вып. 1. С. 113 – 122.
6. Броннер Д.Дж., Томпсон С., Ванги В. Обзор появляющихся технологий извлечения газа. – В кн.: Сокращение эмиссии метана: Доклады II Международной конференции. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2000. С. 364 – 372.
7. Трубецкой К.Н., Гурьянов В.В. О возможности повышения газоотдачи угольных пластов на основе управления геотехническим состоянием углевмещающей толщи // Уголь. 2006. № 2. С. 64 – 66.
8. Трубецкой К.Н., Гурьянов В.В. Интенсификация газоотдачи угольных пластов на основе регулирования их напряженно-деформированного состояния // Уголь. 2006. № 7. С. 60 – 63.
9. Трубецкой К.Н., Гурьянов В.В. О государственной поддержке решения проблемы угольного метана в России. – М.: изд. МГТУ, 2006. – 45 с.
10. Гурьянов В.В. Комплексное освоение георесурсов угленосных отложений и заблаговременное извлечение угольного метана. – М.: изд. МГТУ, 2006. – 67 с.
11. Трубецкой К.Н. Оценка ресурсного потенциала метанугольных месторождений России и обоснование инвестиционной привлекательности его промышленного освоения. – В кн.: Геомеханические и газодинамические аспекты повышения эффективности добычи шахтного и угольного метана. IV Международное совещание (Промгаз, ВНИМИ). – М.: ВНИМИ, 2006. – 56 с.
12. Трубецкой К.Н., Гурьянов В.В. Важнейшие вопросы освоения ресурсов метана угольных месторождений. – В кн.: Труды VIII Международной научно-практической конференции "Энергетическая безопасность России. Новые подходы к развитию угольной промышленности". – Кемерово: ЗАО КВК "Экспо-Сибирь", 2006. – 45 с.
13. Гидродинамическое воздействие на газонасыщенные угольные пласты / А.Ф. Булат, К.К. Софийский, Д.М. Жигленок и др. – Днепропетровск: Полиграфист, 2003. – 220 с.

© 2019 г. М.К. Ларин, М.А. Бибик,
Д.И. Елкина

Поступила 23 ноября 2018 г.