

АНАЛИЗ СПОСОБОВ ПОВЫШЕНИЯ ЭМИССИИ МЕТАНА ПРИ ЕГО ИЗВЛЕЧЕНИИ ИЗ ГАЗО-УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Проанализирована эффективность способов повышения интенсификации газовыделения из угольных пластов. Определены критерии выбора вида техногенного воздействия с целью интенсификации газовыделения из угольного пласта.

Проаналізована ефективність способів підвищення інтенсифікації газовиділення з вугільних пластів. Визначено критерії вибору виду техногенного впливу з метою інтенсифікації газовиділення з вугільного пласту.

The efficiency of ways to improve the intensification of gas emission from coal beds is analysed. Criteria determination of selection of the technogenic effects form to intensify the gas release from the coal seam is considered.

При современном уровне развития техники и технологии добычи угля извлечение метана экономически оправдано только тогда, когда природная проницаемость угольных пластов превышает 1 мили Дарси (мД). В Украине природная проницаемость пластов в большинстве случаев составляет величину менее 1 мД, поэтому технологии извлечения должны обладать возможностью активного воздействия на угольный коллектор.

Извлечение угольного метана из недр может осуществляться или предварительно, или попутно с горными работами. На рисунке приведены стадии развития работ по извлечению шахтного метана [1].

Целью работы является установление факторов, определяющих выбор эффективного способа воздействия на угольный пласт для интенсификации выделения метана.

Способы предварительного извлечения метана из угольных пластов позволяют использовать более 90 % ресурсов, в то время как методами попутной добычи может быть извлечено лишь несколько процентов угольного метана.

В работе [2] утверждается, что для предварительного извлечения метана из неразгруженных угольных пластов потребуются существенные энергетические затраты. В то же время, содержащийся в угле метан обладает внутренней энергией межмолекулярного взаимодействия, которая никогда не учитывалась при анализе природной системы «уголь-метан».

Известны также активные методы воздействия на горный массив в виде способов разгрузки угольного пласта вертикальными и горизонтальными скважинами. Пробуренные с поверхности скважины позволяют целенаправленно изменять и управлять геомеханическим и газодинамическим состоянием пласта с целью интенсификации газовыделения из природных углей.

Бурение вертикальных скважин для заблаговременного извлечения метана из неразгруженных угольных пластов, приводит к перераспределению напряжений и разрушению угля в окрестности этих скважин. При этом в угольном пласте симметрично оси скважины формируется пять различных зон. Оценка размеров интересующих зон структурной нарушенности в окрестности

добычной скважины дает для зоны предельного равновесия величину порядка 2-3 метров, а для упругой фильтрующей зоны - порядка 1,5-2 м.

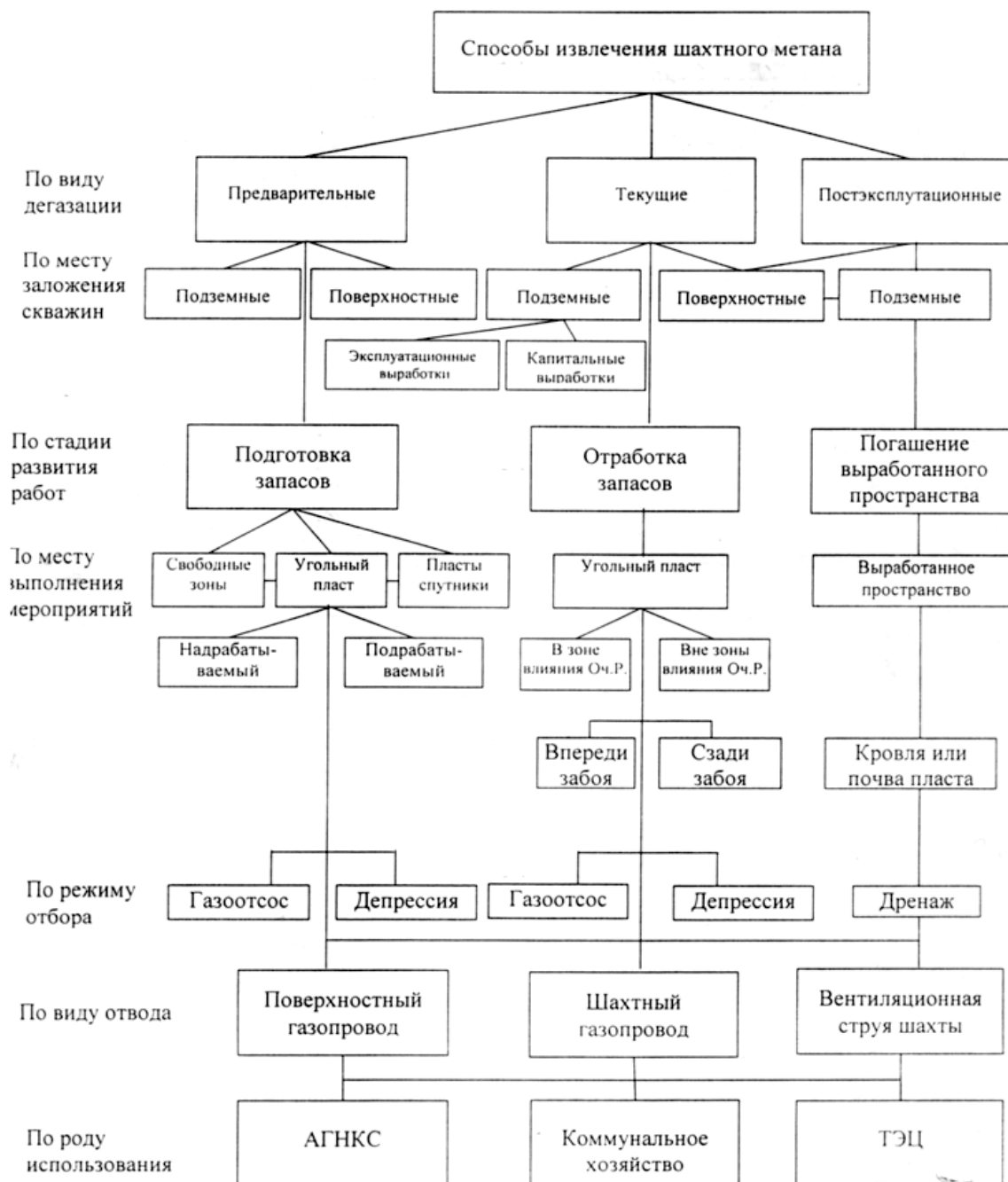


Рис. 1. Стадии развития работ по извлечению шахтного метана

Способ предварительной дегазации неразгруженных угольных пластов с поверхности с помощью горизонтальных скважин предполагает бурение управляемой скважины с поверхности, которая пересекает намеченный участок пластов и продолжается далее в границах пласта или намеченной зоны напластования до достижения требуемой глубины.

Наименьшее значение проницаемости, при котором дегазация горизонтальными скважинами целесообразна, составляет величину порядка $10^{-3} - 10^{-5}$

мД, что характерно для угольных пластов основных месторождений Украины. При этом одна горизонтальная скважина может заменить 5 вертикальных скважин, а с учетом неоднородности это соотношение может составить 1:20.

Способ заблаговременной дегазации неразгруженных угольных пластов скважинами с поверхности путем изменения геомеханического состояния углевмещающей толщи находится на стадии теоретической проработки. При этом результаты моделирования на эквивалентных материалах, имитирующих различное строение толщи сближенных пластов, разную степень и порядок их дегазации, показали, что при извлечении метана из угольных пластов происходит формирование зон разгрузки, аналогичных тем, которые имеют место при добыче угля.

Физическое и компьютерное моделирование геомеханического состояния горного массива при извлечении из него флюидов подтверждает факт образования зон разгрузки и свидетельствует о проявлении своеобразного эффекта «подработки-надработки» угольных пластов, оказывающего существенное влияние на их проницаемость и способность к газоотдаче.

Наиболее распространенные способы управления газовыделением из пластов основаны на механизме воздействия на угленосную толщу с целью нарушить равновесное состояние системы "уголь-метан" путем приложения механической или тепловой энергии. В результате чего повышается газопроницаемость угольного массива и формируется направленное движение десорбированного метана в дегазационные выработки и скважины [3].

Неразгруженный от горного давления угольный пласт представляет собой пористую природную систему, которая имеет замкнутые, изолированные между собой поры и является газоносной не фильтрующей средой.

Разгрузка такой среды от горного давления приводит к увеличению 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 растворенный метан является фактором, способствующим росту трещин, так как он снижает эффективную трещиностойкость угля, разрывая микроструктурные связи при изменении напряженного состояния угольного скелета, а также уже в свободном состоянии участвует непосредственно в развитии трещины. Эти данные доказывают, что сорбированный газ обладает упругостью, ранее не учитываемой при анализе системы уголь-метан, а его наличие в угле в несколько раз уменьшает значение трещиностойкости.

Существующие и разрабатываемые методы интенсификации газовыделения из углей и угольных пластов можно разделить на три группы. К первой группе относятся методы, основанные на механическом дроблении угля, повышении его газопроницаемости и высвобождении адсорбированных газов, находящихся в макропорах. Вторую группу составляют так называемые физико-химические методы, основанные на растворении неорганических минеральных компонентов угля или на вытеснении сорбированных газов поверхностно-активными веществами. В третью группу методов входят те, в которых деструкция системы "уголь-газ" осуществляется на молекулярном и надмолекуляр-

ном уровне (термобароградиентный и виброволновой (ультразвуковое и электромагнитное воздействие)).

Исходя из вышеизложенного, 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 газовой компоненты в рассматриваемой системе.

Среди активных методов повышения газо-эмиссионной способности угольных пластов наиболее действенными в настоящее время оказались способы гидроразрыва (гидрорасчленения, гидродробления), гидродинамического воздействия, камуфлетного взрывания малых зарядов, физико-химического и электрофизического воздействия.

Гидравлический разрыв угольных пластов рассматривается как процесс развития разрывных нарушений в элементах массива горных пород за счет изменения гидрогеомеханической ситуации при фильтрации жидкости под давлением. В качестве критерия разрушения принято условие прочности на растяжение под действием эффективных напряжений. Для решения задач фильтрации и разрушения массива преимущественно используется метод конечных элементов с применением процедуры фиктивных узловых сил.

Во время проведения мероприятий по осуществлению гидроразрыва в выбранном интервале скважины, при закачке в неё жидкости создается высокое давление. На первом этапе в призабойной зоне происходит расширение естественных трещин. Когда давление нагнетаемой жидкости превысит определенную величину, трещины соединяются, причем образование одних может приводить к закрытию других. В породах создается несколько широких трещин большой протяженности, т. е. 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 фильтрующейся жидкостью будут аналогичными. Рассмотрим подробнее процессы, возникающие в массиве горных пород при закачке фильтрующейся жидкости.

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, в свою очередь, влияют на фильтрационные 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 диаметром более 10^{-9} м происходит прямая фильтрация, а поры с меньшими размерами заполняются жидкостью посредством сил капил-

лярного поднятия). Газ, находящийся в заполняемом жидкостью фильтрующем объеме, вытесняется вглубь массива. При сбросе давления происходит резкое изменение в напряженном состоянии массива. Жидкость и вытесняющий ее газ движутся в сторону скважины. Однако скорость изменения давления на стенках скважины значительно опережает скорость обратной фильтрации 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 угля [4].

Следующая группа активных методов интенсификации эмиссии метана 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 геолого-структурных особенностей залегания пласта и других факторов.

При торпедировании скважин или взрывании камуфлетных зарядов в угольном пласте образуются зоны разгрузки и переуплотнения, что в 2-3 раза, увеличивает интенсивность дегазации 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 методом интенсификации газоотдачи угольных пластов, направленным на деструкцию микро поровых и надмолекулярных структур угольного вещества, сл

Зедует считать термобарогradientный способ воздействия на систему «уголь-газ». Данный способ реализуется путем применения специального скважинно-бурового оборудования, обеспечивающего создание на забое скважина высоких перепадов давления и температуры. Возникающие при этом депрессионно-вакуумные эффекты вызывают образование постепенно продвигающихся вглубь угольного пласта зон разупрочнения-сжатия, активирующих деструкцию надмолекулярных структур угольного вещества и интенсивное выделение связанных газов.

Несомненным преимуществом этого метода является возможность его применения для интенсификации эмиссии метана не только средне метаморфизованных каменных углей, но и антрацитов, что существенно увеличивает число возможных объектов для извлечения угольного метана.

Особый интерес представляют развиваемые рядом исследователей способы интенсификации процессов дегазации, основанные на вибрационно-волновом воздействии на угольный пласт. В основе этих электрофизических способов находится поэтапное «закачивание» в пласт энергии упругих дефор-

маций с последующим или одновременным воздействием на молекулярные и надмолекулярные структуры угольного вещества средне-высокочастотным электромагнитным излучением (от 60 Гц до 100 МГц).

Однако, принципиальная возможность создания технологии добычи метана не позволяет установить однозначно критерии выбора видов техногенного воздействия на угольный пласт с целью интенсификации его газовыделения. Это обусловлено тем, что эти критерии должны отвечать на вопрос, какой вид воздействия является оптимальным для конкретного угольного пласта, состоящего из угольного вещества, достигшего определенной степени метаморфизма.

В шахтных условиях пока не получены сравнительные тенденции и закономерности, определяющие степень применимости основных видов воздействия для углей различной степени метаморфизма. Эти результаты получены в работе [5], где конкретно выявлялась реакция природной системы "уголь-газ" на три вида техногенного воздействия, а именно: силовое, тепловое и виброволновое. При этом три вида внешнего воздействия исследованы как теоретически, так и экспериментально.

Эти исследования показали, что методы внешнего воздействия эффективны в своей области изменения степени метаморфизма углей (тепловой – $V^T = 2-42\%$; силовой – $V^T = 2-17,6\%$; 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 видов техногенного воздействия с целью интенсификации газовыделения из 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 м³ добываемого угольного метана.

В ходе исследований получены следующие результаты:

- установлено, что методы воздействия на угольный массив, способствующие интенсификации количества метана заблаговременно добываемого из угольного месторождения, являются важным элементом технологии промышленной добычи метана;

– наиболее перспективным путем обеспечения физической основы добычи метана из неразгруженных пластов на больших глубинах являются исследования 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 (термобароградиентный и виброволновой);

– установлено также, что силовой вид воздействия наиболее эффективен для углей типа антрацитов, тощих и паровично-спекающихся, т.е. углей, имеющих $U_r = 4-17,6 \%$.

При этом: КПД использования энергии гидроразрыва оценивается величиной менее 1%; тепловое воздействие эффективно практически для углей видов метаморфизма; для достижения существенного эффекта (до 20%) требуется, чтобы тепловое воздействие проводилось в сравнительно легко достижимом на практике диапазоне температур $40-80^{\circ}\text{C}$; виброволновой вид воздействия обеспечивает дополнительный эффект интенсификации извлечения метана за счет воздействия на мезо- и макропоры угольного вещества, т.е. вид воздействия даст наибольший эффект для мезо пористых углей, к которым относятся угли с $U_r > 25 \%$.

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

Список литературы

1. Л.Н. Ширин, Н.А. Дудля, К.К. Софийский. Перспективы добычи шахтного метана из угольных отложений Донбасса. Научный журнал (Геология. Горное дело. Нефтегазовое дело) / ПНГУ им. Ю. Кондратюка, №1 2012 г., с.173.

2. Пучков Л.А. Реальность промысловой добычи метана из неразгруженных угольных пластов. М., МГГУ, 1996, 32 с.

3. Айруни А.Т., Бобин В.А. и др. "Газообильность каменноугольных шахт СССР. Эффективные способы искусственной дегазации угольных пластов на больших глубинах". М.: Наука, 1987, 200 с.

4. А.Ф. Булат, К.К. Софийский, Д.П. Силин, Э.И. Мучник и др. Гидродинамическое воздействие на газонасыщенные угольные пласты. Днепропетровск, 2003. – 220 с.

5. Броннер Д. Дж., Томпсон С., Ванги В. "Обзор появляющихся технологий извлечения газа", в сб. "Сокращение эмиссии метана: доклады II Международной конференции". Новосибирск, Изд-во СО РАН, 2000, с. 364-372.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Голіньком В.І.
Надійшла до редакції 30.10.2012*