

ОХОРОНА ДОВКІЛЛЯ

УДК 622.811

**Воробьев Е.А., к.т.н.¹, Силин Д.П., к.т.н.², Нечитайло В.А., инж.²,
Чередников В.В., инж.³**

**1 – АДИ ДонНТУ, г. Горловка, 2 – ИГТМ НАНУ, г. Днепропетровск,
3 – АП «Шахта им. А.Ф. Засядько», г. Донецк**

АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ СПОСОБОВ ДОБЫЧИ МЕТАНА ИЗ ГАЗОНАСЫЩЕННЫХ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ

Изложен обзор способов действия на угольный пласт для интенсификации газовыделения, целью которого есть выбор самого эффективного для добычи метана. Эта проблема весьма актуальна с точки зрения экологической ситуации в угледобывающих регионах Украины, а также и для решения энергетических проблем.

Выполненный анализ показал, что наиболее приемлемым для добычи шахтного метана пробуренными с поверхности скважинами есть пневмогидравлический способ действия на углепородный массив.

Актуальность проблемы добычи шахтного метана

Острый дефицит газообразных энергоносителей, который испытывает топливно-энергетический комплекс Украины, обусловлен недостатком их запасов и отставанием объемов добычи от объемов потребления.

В то же время наша страна обладает огромными запасами угля, каждая тонна которого содержит от 5 до 40 м³ метана. Общие ресурсы метана в угле оцениваются в 1,2 трлн. м³, а с учетом газа и во вмещающих породах эта цифра достигает 25 трлн. м³. Однако, представляя один из самых перспективных потенциальных источников энергии, метан сегодня является причиной постоянной опасности для шахтеров, а также одним из самых сильных загрязнителей окружающей среды.

Выполнение комплексной программы добычи шахтного метана позволит добиться следующих результатов:

- освоения альтернативного вида топлива, который уменьшает зависимость Украины от импорта энергоносителей, прежде всего природного газа из России и других стран СНГ;
- снижения объема выбросов метана (одного из наиболее сильных «парниковых газов») в атмосферу угольными предприятиями Украины;
- повышения безопасности и продуктивности работы шахт.

Масштабная разработка и применение угольного метана могут внести важный вклад в обеспечение энергетической и экономической безопасности Украины. В результате закупок природного газа в России и странах СНГ возникает отрицательный торговый баланс на сумму свыше 2 млрд. дол.

Использование шахтного метана дает серьезные экологические преимущества. В 2004 г. в результате работы угольных предприятий выделилось 1221 млн. м³ метана, из этого объема около 357 млн. м³ (29%) каптировано системами дегазации шахт и лишь 179 млн. м³ было использовано. Таким образом, около 1042 млн. м³ метана выброшено в атмосферу. Реализация проектов по добыче шахтного метана в Украине позволит сократить его выбросы в атмосферу угольными предприятиями.

Основные задачи добычи угольного метана

Основными задачами добычи угольного метана являются:

- метанобезопасность угольных шахт;
- повышение эффективности угледобычи;
- использование метана в качестве энергоносителя;
- улучшение экологической обстановки.

Исходя из особенностей каждой проблемы, специалисты предлагают множество методов воздействия на угольный массив, которые позволяют решать как глобальные вопросы (тотальную добычу метана из угленосных пластов), так и частные проблемы дегазации с учетом горно-геологических и техногенных факторов, а также особенностей условий разработки угольного массива.

Вполне естественным является тот факт, что большинство авторов, предлагающих самые разные способы воздействия на газонасыщенный угольный массив с целью эффективного выделения или значительного снижения вредного воздействия метана, исходят, в основном, из следующих принципов:

- мероприятия не должны отрицательно влиять на технологический процесс угледобычи и шахтную атмосферу;
- применяемые рабочие агенты не должны обладать токсичными или агрессивными свойствами;
- рабочие агенты, а также методы и средства воздействия не должны быть дорогими;
- технология воздействия не должна усложнять процесс добычи угля;
- мероприятие должно эффективно влиять как на интенсификацию процессов газовыделения, так и на повышение нагрузки на забой.

Обзор значительного числа предлагаемых способов решения проблемы угольного метана показал, что наиболее многочисленными являются воздействия с помощью компонентов, содержащихся в самом угольном массиве, а именно, воды, газа и воздуха, и создания с их помощью физических нагрузок на пласт.

Как правило, эти способы воздействия носят общее название «гидродинамические» или «пневмогидродинамические», хотя многие из них существенно отличаются в деталях их осуществления.

В обзоре приведены данные о способах воздействия на углепородный массив, в основном, предлагаемые украинскими и российскими учеными, так как зарубежные авторы, как правило, не открывают детали своих разработок.

Рассмотрены способы воздействия на углепородный массив, как через подземные, так и через поверхностные скважины.

Гидродинамические способы воздействия на газонасыщенный угольный массив

Институтом геотехнической механики НАН Украины в 1982 году был разработан гидродинамический способ воздействия на напряженный газонасыщенный углепородный массив, применение которого позволяет эффективно произвести разгрузку и дегазацию значительной площади угольного пласта при сравнительно небольших объемах бурения [1].

Разработанный способ гидродинамического воздействия существенно отличается от применяемых в настоящее время гидроразрыва, гидрорыхления и гидрорасчленения. Идея способа - инициирование управляемого газодинамического явления на заданном участке угольного пласта. Способ предполагает нарушение равновесия в системе «скважина – уголь» путем осуществления циклического знакопеременного изменения нагрузок на пласт.

Принцип гидродинамического воздействия был апробирован при вскрытии квершлагами крутых выбросоопасных пластов, при проведении пластовых подготовительных выработок, при снижении выбросоопасности в зонах повышенного горного давления, при сква-

жинной добыче угля и др. В настоящее время ведутся работы по созданию способа добычи шахтного метана из поверхностных скважин с применением гидродинамического воздействия.

Наиболее известным региональным методом воздействия на выбросоопасные пласты является их гидрорасчленение [2].

Во время промышленной проверки метода заблаговременного снижения выбросоопасности и газоносности угольных пластов путем их гидрорасчленения предъявлялись следующие требования:

- дегазация угольных пластов и вмещающих пород, позволяющая снизить газоносность и давление газа до безопасного уровня;
- увеличение на 1-2 порядка газопроводности массива и его проницаемости;
- равномерная обработка массива на больших площадях (более 100 м от скважины);
- разгрузка пласта, снижение способности угля и вмещающих пород к накоплению потенциальной энергии;
- эффективная обработка участков с мелкоамплитудными нарушениями.

Реализация этих требований в основном была осуществлена во время промышленных испытаний путем разработки следующих технологий:

- технологии освоения скважин с откачкой рабочей жидкости с последующим извлечением газа на поверхность;
- технологических приемов управления процессом раскрытия всех систем природных трещин;
- технологии гидрорасчленения вмещающих пород;
- технологии гидрорасчленения пластов в условиях мелкоамплитудных геологических нарушений.

Испытания позволили проанализировать достигнутые во время промышленной проверки метода величины эффективных радиусов в зависимости от горно-геологических и горнотехнических факторов. Результаты анализа показали, что скорость распространения рабочей жидкости в направлении основной системы трещин в 20-25 раз выше, чем в направлении второстепенных систем трещин.

Выход воды в выработку, по характеру которого можно судить о процессе, происходит при перемещении фронта распространения жидкости на расстояние от 50-60 до 220-250 м, что свидетельствует о последовательном раскрытии трещин.

При установлении закономерностей влияния гидрорасчленения вмещающих пород на состояние выбросоопасных угольных пластов теоретически обоснована и аналитическими расчетами доказана возможность снижения выбросоопасности пласта. Это осуществляется за счет дополнительной разгрузки его призабойной части при гидрообработке монолитных песчаников в основной кровле и почве пласта при наличии негидропроводных пород непосредственной кровли.

Эффективность предложенного метода гидрорасчленения подтверждена стабильным снижением газоносности и выбросоопасности в условиях, соответствующих его области применения.

В 1988-1989 г.г. были проведены работы по переменному нагружению угольного массива (нагнетание и сброс давления в конце каждого цикла), что позволило при освоении скважин увеличить их средние дебиты до 700-1300 м³/сут (95-99% метана), а максимальный объем газа – до 430 тыс. м³ из одной скважины за 317 суток эксплуатации.

Установлено также, что влияние гидравлического воздействия на состояние и свойства выбросоопасного пласта сохраняется в течение длительного времени.

Способ гидрорасчленения, по данным литературных источников, используется достаточно широко. В частности, описан способ обработки угольного пласта через скважины с поверхности. Данный способ включает нагнетание рабочей жидкости в угольный пласт в ре-

жиме его гидрорасчленения с последующим сбросом устьевого давления жидкости до атмосферного, при котором происходит свободное истечение жидкости из скважины. При свободном истечении рабочей жидкости из скважины создают гидравлические удары, циклически перекрывая поток этой жидкости и сбрасывая ее в атмосферу при амплитуде гидравлического удара, величина которого не менее величины устьевого давления до её первоначального истечения.

Длительность перекрытия и сброса жидкости в каждом цикле принимают одинаковыми, а время воздействия гидравлических ударов на пласт в цикле определяют из выражения $\Delta t = k \frac{L+R}{c}$, где Δt - длительность времени перекрытия жидкости в цикле, с; k – эмпирический коэффициент, равный 2-10; L – глубина залегания пласта, м; R – радиус зоны гидравлической обработки пласта, м; c – скорость ударной волны в жидкости, м/с.

Создание гидравлических ударов прекращают, когда максимальное давление гидравлического удара в цикле становится меньше величины устьевого давления жидкости до ее первоначального истечения из скважины.

При гидравлической обработке прочных угольных пластов с высоким содержанием метана определяют в начале каждого цикла интервал времени увеличения устьевого давления гидравлического удара до максимального значения, а сброс жидкости в атмосферу осуществляется через следующий интервал времени, равный предыдущему в данном цикле [3].

Обоснованы параметры гидроударной обработки угольного пласта на стадии свободного истечения воды из скважины. При этом положено явление гидравлического удара, возникающего при циклическом перекрытии заслонки. Способ реализуется без дополнительных энергетических затрат. Амплитуда гидроударов в несколько раз превышает давление воды как на начальной, так и на конечной стадиях нагнетания в пласт [4].

Кроме того, опубликован целый ряд работ, касающихся гидравлической обработки угольного пласта с различными вариантами параметров.

Пневмогидродинамические способы воздействия

С целью поддержания необходимого дебита метана из скважин следует проводить технологические мероприятия по восстановлению газопроницаемости обводненного массива после обработки. Длительность откачки рабочей жидкости препятствует ускоренной добыче метана из пласта через скважины с поверхности.

Низкие дебиты метана объясняются:

- недостаточной фазовой проницаемостью обработанного пласта для газа;
- снижением проницаемости прискважинной зоны.

Учитывая данные факты, был намечен иной подход к проблеме интенсификации добычи метана через скважины с поверхности, отличающийся от применяемых способов интенсификации в нефтяной и газовой промышленности. Способ не требует дополнительных материалов и оборудования на проведение работ. Описанная технология по интенсификации газовыделения из угольного массива основывается на опыте применения способа гидрорасчленения [5].

Пневмооттеснение проводится с целью освобождения сети трещин гидрорасчленения и повышения фазовой проницаемости массива для метана. Закачка сжатого воздуха производится компрессором КПУ-16/100 с давлением на устье скважины, превышающим пластовое ($P_y > 3-4 \text{ МПа}$). При этом в пласт закачивается не менее 350 тыс. м³ сжатого воздуха с температурой 60-70 °С. Закачка проводится круглосуточно.

При пневмооттеснении рабочая жидкость совершает полезную работу по замещению метана в сорбционном объеме угля. Однако этот процесс довольно длителен.

Циклическое пневмовоздействие на угольный пласт проводится с целью освобождения зоны перфорации от штыба и угольной мелочи. Закачка сжатого воздуха проводится с

давлением на устье скважины 2-3 МПа. Количество циклов и объем закачиваемого сжатого воздуха определяется в каждом конкретном случае отдельно по скважинам и зависит от освоенности скважины.

Исследования показали, что количество циклов закачки должно быть не менее 10. В каждом цикле в пласт закачивается 5 тыс. м³ сжатого воздуха. После каждого цикла смесь воды и воздуха из скважины стравливается.

После стабилизации дебита воды и метана (в среднем через 17 часов после окончания) проводятся контрольные замеры с отбором проб «мокрым способом» газовой смеси с целью определения компонентов газа в лабораторных условиях.

Измерения дебитов воды и газа и концентрации метана в газовой смеси производятся 2 раза в сутки.

Опубликованы также результаты по применению пневмогидродействия при ведении горных работ на поле шахтоуправления Зуевское (Россия) [6].

Общий объем закачки воздуха в одну скважину изменялся от 90 до 350 тыс. м³. Воздух закачивался одним-четырьмя компрессорами СД-9/101. Эффективность снижения газообильности участка составила 75 % (абсолютная газообильность в обработанной зоне 3,2 м³/мин против 1,3 м³/мин в исходной зоне). Относительная газообильность участка снижена с 54,4 до 12,2 м³/т с.д., эффективность снижения газовыделения из пласта составила 70 %.

Особенность работ состояла в том, что обработка пласта опережала горные работы не более чем на 1-1,5 года. Высокая эффективность снижения газообильности достигалась не столько путем извлечения больших объемов метана на поверхность, сколько благодаря ряду других факторов, таких как увеличение в 1,3-1,5 раза остаточной газоносности угля в зонах пневмодействия (консервация метана в мельчайших порах и трещинах, в том числе за счет образования окислов и др.), частичное оттеснение свободного метана в подготовительные выработки и снижение концентрации метана в поровом объеме угля (с 95-100 % в необработанном массиве до 8-12 % в зоне пневмогидрообработки).

Пневмогидродействие на угленосную толщу с поверхности может осуществляться в различных режимах и с различной технологической последовательностью. В определенных случаях возможно применение интенсифицирующих активных воздействий (тепловое, термохимическое, гидродинамическое с использованием пороховых генераторов давления, циклическое с использованием сжиженных газов и др.).

Разработан метод конструирования общей технологической схемы заблаговременной дегазации угольного пласта, которая должна выполняться поэтапно (включать необходимый минимум обязательных работ) и в общем случае многостадийно и циклически.

Разработанная технология позволяет при естественном и принудительном извлечении газа из угленосной толщи через скважины с поверхности с гидрорасчленением пластов за пять-семь лет получать из зоны, обработанной из одной скважины, 1,5-3 млн. м³ чистого метана. При этом снижается газообильность горных выработок на 60-80 % и многократно уменьшается пластовое давление. Заблаговременная дегазация угленосной толщи позволяет планировать объем добычи метана через скважины с поверхности, что экономически оправдано.

Опубликованы результаты экспериментальных работ, проведенных в 1996 году на поле шахты им. Ленина (Караганда), по заблаговременному извлечению метана с применением усовершенствованной технологии [7]. Основной особенностью этих работ является сама комплексная цель воздействия - заблаговременная дегазационная подготовка и получение коммерчески значимого дебита метана (на уровне 5 м³/мин). Для достижения этой цели была разработана конструкция скважины, обеспечивающая «совершенное» вскрытие угольного пласта, кавернообразование в прискважинной зоне и циклическое пневмогидродинамическое воздействие. Большинство из предложенных разработок испытывались впервые.

Традиционно в Карагандинском угольном бассейне для проведения гидрорасчленения используется конструкция скважин, предусматривающая спуск рабочей колонны ниже продуктивного пласта с последующей цементацией и перфорацией. Эта конструкция создает дополнительные сложности при освоении скважин. Прискважинная зона обладает дополнительным сопоставлением, часто зашламовывается в результате выноса твердых частиц в процессе эксплуатации.

На опытной скважине была применена конструкция скважины, обеспечивающая совершенное вскрытие угольного пласта. Диаметр рабочей колонны составил 6", глубина рабочей колонны – 488,2 м, кровля пласта d_6 , как показали проведенные каротажные исследования, находилась на глубине 488,3 м.

Традиционная технология гидрорасчленения, как и различные варианты пневмогидровоздействий, позволяет регулировать величину зоны обработки (контур питания) за счет изменения параметров воздействия. При этом радиус стока остается постоянным и определяется в основном эффективностью перфорации.

Таким образом, воздействие непосредственно на угольный пласт через опытно-экспериментальную скважину следует разделить на две стадии. На первой стадии после вскрытия пласта осуществляется кавернообразование в прискважинной зоне, позволяющее значительно увеличить радиус стока. На второй стадии проводится циклическое пневмогидродинамическое воздействие, обеспечивающее режим кавитации и необходимый радиус воздействия.

Кавернообразование проводится в процессе гидropескоструйной обработки с использованием перфоратора с четырьмя насадками в одном сечении. Продолжительность каждого реза определяется наличием угля при изливе из скважины.

Сущность проводимого на втором этапе знакопеременного пневмогидровоздействия заключается в том, что за счет чередования процесса нагнетания рабочего агента с последующим его интенсивным выпуском из пласта активизируется трещинообразование, а непосредственно в прискважинной зоне происходит разрушение угольного пласта.

Собственно гидрорасчленение угольного пласта осуществляется с поэтапным увеличением темпа закачки до максимального на последнем этапе и минимально возможными объемами рабочей жидкости при условии обеспечения необходимого радиуса воздействия.

Для повышения равномерности обработки и раскрытия новых систем трещин необходимо использовать рабочие агенты различной вязкости. Это достигается чередованием закачки рабочей жидкости и воздуха, т.к. в результате изменения фазовой проницаемости при смене рабочего агента создаются условия для раскрытия новых систем трещин.

В 1998 г. была проведена пневмообработка пласта, после которой было возобновлено освоение скважины.

В США запатентован способ стимулирования скважинной дегазации угля путем нагнетания через пробуренную скважину в угольный пласт пены, которая способствует раскрытию естественных или образованию новых трещин в угольном массиве. После этого в скважину под высоким давлением нагнетают газ (воздух или азот), а затем внезапно снимают давление, вызывая тем самым интенсивную дегазацию угля вокруг пробуренной скважины [8].

Выводы

Обзор способов интенсификации процесса газовыделения из угольных пластов, позволил сделать следующее заключение. В зарубежных странах, особенно в США и Германии, уже в настоящее время производится промышленная добыча шахтного метана, чему способствует законодательство этих стран.

В России, Украине, Казахстане также уделяется внимание этой проблеме. Однако, несмотря на то, что некоторые успехи в работах по применению различных способов воздействия были достигнуты, особенно в части изучения физических аспектов и решения технических задач дегазации, главная цель которых – стабильная и продуктивная добыча шахтного

метана, существенных результатов получено не было. В связи с этим предложен способ пневмогидродинамического воздействия, включающий в качестве рабочего агента, кроме воды, еще и сжатый воздух.

Анализ применяемых в настоящее время способов интенсификации газовыделения из угольного массива показал, что пневмогидродинамическое воздействие является наиболее эффективным для условий добычи шахтного метана через поверхностные дегазационные скважины. Принципы его действия создают условия для стабильного газовыделения, вследствие эффективного трещинообразования с большим радиусом деструкции угля, удаления колматационных образований, а также усиления процессов кавитации. В целом способ пневмогидродинамического воздействия является наиболее близким аналогом технологий, применяемых в США и Германии. Он представляется наиболее перспективным для создания технологии добычи шахтного метана.

Институтом геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины совместно с шахтой им. А.Ф. Засядько в настоящее время проводятся шахтные экспериментальные работы, задачей которых является создание технологии пневмогидровоздействия без гидрорасчленения пласта. Целью исследований является определение параметров и порядка воздействия на углепородный массив, что сможет обеспечить стабильный высокий выход газа из поверхностных скважин в течение длительного времени, что является основой дальнейшей промышленной добычи и утилизации шахтного метана.

Список литературы

1. Гидродинамическое воздействие на газонасыщенные угольные пласты / А.Ф. Булат, К.К. Софийский, Д.П. Силин, Э.И. Мучник, Е.Г. Барадулин, Д.П. Житленок, В.Н. Жмыхов, Е.А. Воробьев, А.П. Калфакчиян. – Днепропетровск: Полиграфист, 2003. – С. 17-21.
2. Анпилогов Ю.Г., Королева В.Н. Закономерности изменения газодинамических характеристик выбросоопасных угольных пластов в зонах гидрорасчленения при заблаговременной подготовке газовыбросоопасного массива // Горн. инф.-анал. бюл. / Моск. гос. горн. ун-т. – 1999. - №8. – С. 51-55.
3. Пат. 2188322 Россия, МПК⁷ E 21 F 7/00. Способ гидравлической обработки угольного пласта / Пучков Л.А., Сластунов С.В. Каркашадзе Г.Г., Коликов К.С.; Моск. гос. горн. ун-т. - №2001124713/03; Заявл. 07.09.2001; Оpubл. 27.08.2002 // РЖ Горное дело. – 2002. - № 12. – 02.12-10В. 175 П.
4. Каркашадзе Л.Г. Режимные параметры гидроударной обработки угольного пласта на стадии истечения воды из скважины: Докл. научного симпозиума «Неделя Горняка-2004», Москва, 26-30 янв. 2004 // Горн. инф.-анал. бюл. / Моск. гос. горн. ун-т. – 2004. - №8. – С. 57-59.
5. Ахметбеков Ш.А. Интенсификация газовыделения из угольных пластов через скважины с поверхности // Горн. инф.-анал. бюл. / Моск. гос. горн. ун-т. – 1997. - №6. – С. 149-151.
6. Дегазация угольных месторождений через скважины с поверхности и добыче метана с использованием пневмогидровоздействия / Н.В. Ножкин, С.В. Сластунов, А.И. Буханцов // Безопас. труда в пром-сти. – 1993. - №10. – С. 15-19.
7. Экспериментальные работы по заблаговременному извлечению метана из особовыбросоопасного пласта D₆ на поле шахты им. Ленина / К.С. Коликов, С.М. Горбунов, Ф.А. Муллагалиев // Горн. инф.-анал. бюл. / Моск. гос. горн. ун-т. – 1997. - №7. – С. 71-74.
8. Пат. 5474129 США, МКИ⁶ E 21 B 43/25. Образование трещиноватости, вызываемой стимулированием скважинной дегазации угля с применением пены. Cavity induced stimulation of coal degasification wells using foam / Weng Xiaowei, Montgomery Carl T., Perkins Thomas K., Atlantic Richfield Co. - № 334908; Заявл. 07.11.94; Оpubл. 12.12.95; НКИ 166/308. – РЖ Горное дело. – 1998. - №3. – 3 В131П.

Стаття надійшла до редакції 23.03.07

© Воробйов Є.О., Сілін Д.П., Нечітайло В.О., Чередніков В.В., 2007