

Д-р. геол.-минерал. наук В.В. Лукинов,
д-р техн. наук В.Г. Перепелица
(ИГТМ НАН Украины),
д-р техн. наук Б.В. Бокий,
канд. техн. наук И.А. Ефремов
(АП «Шахта им. А.Ф. Засядько»)

СОЗДАНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОГО КОМПЛЕКСА ИЗВЛЕЧЕНИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ШАХТНОГО ГАЗА МЕТАНА

Досвід реалізації проекту комплексного витягання та використання газу метану на шахті ім. О.Ф. Засядька дозволив розробити наукові основи промислових технологій витягання і використання газу вугільних родовищ, які можуть застосовуватися для розробки подібних проектів для шахт з аналогічними умовами.

CREATION OF POWER-EFFICIENT COMPLEX FOR COAL MINE METHANE DRAINAGE AND UTILIZATION

Experience of successful realization of the project for combined methane drainage and utilization in the A.F. Zasyad'ko mine allowed to develop fundamental scientific principles of industrial practices for effective drainage and utilization of gas from coal deposits, which can be used in similar projects for mines with similar mining environment.

Практически во всех угледобывающих регионах мира актуальной является проблема газа метана угольных шахт, которая включает три аспекта: - обеспечение безопасности ведения горных работ; добычу шахтного газа метана как углеводородного сырья; снижение вредных выбросов шахтного метана в атмосферу и улучшение экологической обстановки в угледобывающих регионах.

Украина владеет значительными ресурсами метана на угольных месторождениях. По оценкам специалистов [1], ресурсы метана оцениваются в 12 триллионов м³ метана, что в 3-3,5 раза превышает ресурсы природного газа. Но в отличие от месторождений природного газа, значительная часть метана угольных месторождений находится либо в сорбированном состоянии в углях и глинистых породах, либо в порах практически непроницаемых песчаников, и лишь незначительное количество его находится в свободном и растворенном виде.

Добыча угля на Украине характеризуется сложными горно-геологическими условиями залегания и отработки угольных пластов. При добыче в Украине в 2009 году 72,2 млн. тонн угля выделяется более 1,4 млрд. м³ метана, из них утилизируется примерно 70 млн. м³, а большая часть выбрасывается в атмосферу.

Запасы метана на шахте им. А.Ф. Засядько составляют 19,5 млрд. м³. В 2009 году, при объеме добычи угля 1,6 млн. тонн, было извлечено 78 млн. м³ метана, из которого утилизировано 40 млн. м³. Абсолютное метановыделение на шахте

составляет 300 м³/мин, относительное нередко превышает 50 м³/т добытого угля.

Отметим, что в отличие от угольного метана, или coal bed methane (CBM), который добывается на участках, где не ведутся горные работы и для добычи которого необходимо специальное воздействие на угольный пласт, например, гидроразрыв, шахтный газ метан, или coal mine methane (CMM), выделяется при добыче угля без специального воздействия на углепородный массив и удаляется из шахты системами вентиляции и дегазации. Именно шахтный газ метан загрязняет окружающую среду и поэтому сокращение его выбросов в атмосферу регламентировано Киотским протоколом.

Повышение качества работ по дегазации углепородного массива позволяет извлекать шахтный метан в промышленных количествах, пригодных для переработки в электроэнергию и тепло, одновременно обеспечивая безопасность ведения горных работ. Чем больше метана будет содержаться в метановоздушной смеси, которая извлекается при дегазации, тем меньше его там останется, и тем безопаснее будут условия работы в шахте, а утилизация выведенного на поверхность высококачественного энергоносителя позволит получать дополнительное тепло, электроэнергию и моторное топливо, предотвращая загрязнение атмосферы, что, в свою очередь, отвечает требованиям Киотского протокола.

Организация комплекса работ по извлечению и использованию шахтного газа метана требует, прежде всего, выделения объектов дегазации, предварительной оценки их возможных газодинамических характеристик, расчетов газового баланса разрабатываемого углепородного массива и ожидаемых объемов выделения метана в горные выработки. Считалось, что дегазируются, прежде всего, угольные пласты (рабочие и спутники). Впервые было предложено рассматривать песчаники угольных месторождений как объекты, в которых формируются скопления метана [2].

Скопления метана в углепородных массивах обусловлены как природными условиями, так и техногенными факторами, зависящими от горно-геологических и технологических условий отработки угольных пластов.

Ведущими природными факторами формирования скоплений свободного метана являются тектонические процессы, обусловившие трещинообразование в углепородном массиве не нарушенном горными выработками и, как следствие, увеличение газопроницаемости. Была разработана модель формирования эффективной мощности песчаников - слоя с повышенной проницаемостью в сводовой части локальной антиклинальной структуры, как результат образования трещин, когда деформации растяжения для данного слоя песчаника и данной кривизны складки превышают предельно допустимые значения [3].

Об увеличении проницаемости песчаников в пределах открытой локальной антиклинальной складки свидетельствуют повышенные дебиты газа поверхностных дегазационных скважин МТ-340 и МТ-341, а также подземных

дегазационных скважин, пробуренных из горной выработки уклона №7 на поле шахты им. А.Ф. Засядько в области такой структуры.

Результаты этих работ вошли в нормативные документы Минуглепрома [4,5,6], а также были использованы при выделении перспективных зон для предварительной дегазации на поле шахты «Бутовская», объединения «Макеевуголь».

Таким образом, было доказано на практике, что основным условием извлечения метана из углепородного массива в промышленных объемах, является наличие в нем трещин, природных или техногенных.

Учитывая важность изучения процессов протекания механизма трещинообразования, в Институте геотехнической механики был создан стенд и проведен комплекс лабораторных исследований по искусственному образованию трещин, в том числе трещин гидроразрыва. Эксперименты проводились на оптически активных образцах, что позволяло наблюдать изменение напряжений в процессе трещинообразования. Изучались параметры процесса гидроразрыва при заполнении трещин сыпучим газопроводящим материалом в зависимости от структуры и свойств наполнителя.

Анализ деформаций трещин в неравнокомпонентном поле сжимающих напряжений и многочисленные лабораторные эксперименты позволили установить изменение газовой проницаемости образцов горных пород при переходе их из равнокомпонентного объёмного напряженного состояния в разнокомпонентное. Данный результат зарегистрирован как открытие [7].

В реальных условиях шахты им. А.Ф. Засядько были выполнены уникальные работы по определению величины и направления главных компонент поля напряжений горного массива методом локального гидроразрыва [8]. Результаты использовались при выборе направления бурения дегазационных скважин относительно положения главных компонент современного поля напряжений для увеличения проницаемости пород и, как следствие, дебита газа [9]. С целью интенсификации газовыделения из скважин после их гидроразрыва проводилось заполнение трещин сыпучим материалом.

Для определения основных параметров техногенных скоплений метана в нарушенном углепородном массиве а также правильного заложения скважин, углов их наклона и ориентации, использовалась модель формирования техногенных трещиноватых зон в подработанном углепородном массиве, предложенная М.А. Иофисом [10].

Разработана методика расчета объёмов извлекаемых запасов метана из подработанных массивов горных пород, а также распределение их в углях и породах над выемочными участками, по которой были выполнены расчеты для шахт объединения «Макеевуголь».

Разработана модель формирования потоков метана в подрабатываемом углепородном массиве, позволяющая определять параметры зон дегазации и зон извлечения метана.

На шахте им. А.Ф. Засядько, при отработке 16 западной лавы пласта m_3 впервые была использована новая технология дегазации, основанная на

разделении во времени и в пространстве процессов добычи угля и извлечения метана, так называемая технология «Газового горизонта» [6].

Это позволило уменьшить содержание метана в вентиляционной струе, повысить его концентрацию в скважинах и извлечь дополнительно 6 миллионов м³ метана.

В промышленных условиях на шахте им. А.Ф. Засядько апробирована, разработанная авторами, новая технология комплексной дегазации углепородных массивов [11]. Она предусматривает дегазацию подрабатываемого углепородного массива подземными скважинами – по три - четыре скважины в кусте, дегазацию выработанного пространства по трубопроводу системы газоотсоса через свечи, оставляемые в завальной части лавы, дегазацию подрабатываемого углепородного массива скважинами, пробуренными с поверхности. Было установлено, что газ из поверхностных дегазационных скважин содержит 90-98 % метана, из подземных скважин текущей дегазации – 25-60%, а из трубопроводов дегазации выработанного пространства – 8-30 %.

Установленные в процессе исследований закономерности газовыделения положены в основу принципов коренной реконструкции дегазационных систем. Была увеличена пропускная способность подземных дегазационных трубопроводов, проложено более 50 км труб диаметром 630 и 530 мм; эффективность комплексной дегазации доведена до 90%; ежемесячное бурение скважин, диаметром 132 мм и длиной в среднем 100 – 120 м составляет более 5 км.

Одновременно с реконструкцией подземной части системы дегазации, был сооружен мощный наземный энергокомплекс, включающий: строительство четырех новых вакуум-насосных станций, оснащенных 27 вакуумными насосами, производительностью 150 м³/мин. каждый и с выходным давлением до 500 мбар.; сооружение газотранспортной системы подачи газа, его очистки и подготовки. По ней осуществляется сбор, транспортирование, осушка, обезвоживание и обеспыливание извлеченного метана, подготовка его к сжиганию. Для энергетической переработки метана на промышленной площадке шахты построен теплоэнергетический комплекс с газопоршневыми установками типа JMS австрийско - американской фирмы "GE-Jenbacher". Комплекс включает 12 когенерационных установок, каждая по 3,035 МВт электрической и 2,92 МВт, или 2,63 Гкал тепловой энергии. Выбор указанного оборудования основан на результатах ТЭО, в котором определены преимущества когенерационного принципа выработки электроэнергии, впервые доказана возможность использования шахтного газа с низкой концентрацией метана (от 25 %) и незначительным его давлением на входе в машину (порядка 100 миллибар), что исключает необходимость дооснащения системы дополнительным компрессором [12].

Тепло снимается с газопоршневых установок и утилизируется системой теплоснабжения. Комплекс оборудован контрольно-измерительной системой и электрической подстанцией для собственных нужд.

За период с 2004 по 2009 годы комплексом извлечено и утилизировано 170 млн. м³ шахтного газа метана, который использован для выработки около 560 тысяч МВт·часов электроэнергии и свыше 157 тысяч Гкал тепла, что позволило сократить выбросы метана в атмосферу в эквиваленте 2,8 млн. т CO₂

Таким образом, реализована первая очередь самого мощного, на сегодня, в Украине проекта комплексной дегазации и промышленной утилизации шахтного метана.

При утилизации извлеченного метана произведено тепла и электроэнергии на сумму 215,1 млн. грн., выплаты по квотам и зачеты за уменьшение выбросов метана в атмосферу составляют 315,8 млн. грн. Общий экономический эффект от реализации проекта в условиях шахты им. А.Ф. Засядько составил 272,3 млн. грн.

Наиболее существенные научные результаты состоят в том, что:

- обоснована модель образования трещинно-пористой пустотности в песчаниках за счет разрушения вследствие превышения растягивающих напряжений предельно допустимых значений, как под воздействием тектонических сил, при изгибе пород в складки, так и в результате процессов сдвижения горного массива после его подработки;

- установлены и использованы закономерности изменения газовой проницаемости пород при их переходе от объёмного равнокомпонентного напряженно-деформированного состояния к разнокомпонентному, что позволило усовершенствовать способы извлечения метана;

- установлены закономерности формирования концентрации и объемов извлечения метановоздушной смеси при различных способах дегазации углепородного массива, на базе которых обоснованы и внедрены технологические схемы использования метана.

Практические результаты внедрения проекта извлечения и использования шахтного метана заключаются в следующем:

- опыт реализации проекта комплексного извлечения и использования газа метана на шахте им. А.Ф. Засядько позволил разработать основы промышленных технологий извлечения и использования газа угольных месторождений, которые могут применяться для разработки подобных проектов, как для отдельных шахт с аналогичными условиями, так и для группы шахт;

- снижение содержания метана в шахтной атмосфере позволит не только сократить до минимума потенциальную возможность взрывов метана, улучшить состояние техники безопасности и условий труда, но и снять ограничения по газовому фактору, повысить темпы проведения подготовительных выработок, нагрузку очистных забоев, увеличить объемы добычи угля;

- все это, вместе с переходом на потребление при добыче угля собственной электроэнергии и тепла позволит значительно повысить экономические показатели работы угольных шахт и снизить потребность в снабжении электроэнергией и теплом угольных регионов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Касьянов В.В., Ламберг Ст. Перспективы развития метановой отрасли в Украине // Геотехническая механика. Сборник научных трудов.- Днепропетровск, ИГТМ НАНУ, 2000, вып.17.- с.6-15.
2. Углеродный массив Донбасса как гетерогенная среда / А.Ф. Булат, Е.Л. Звягильский, В.В. Лукинов, В.Г. Перепелица, Л.И. Пимоненко, Г.А. Шевелев – К.: Наукова думка, 2008. – 410 с.
3. Лукинов В.В. Горно-геологические условия образования скоплений свободного метана на угольных месторождениях. Днепропетровск, Науковий вісник НГУ, 2007. – № 4.– с. 55 - 59.
4. Скупчення вільного метану у непорушеному вуглепородному масиві. Методика прогнозування зон та визначення їх параметрів. Стандарт Мінвуглепрому України: СОУ 10.1.05411357.004:2005. - Видання офіційне. - Введ. 29.11.05, №46. - К., 2005. – 13 с.
5. Техногенні скупчення метану у порушеному вуглепородному масиві. Методика прогнозування зон підвищеної газонасиченості та визначення їх параметрів. Стандарт Мінвуглепрому України: СОУ 10.1.05411357.007:2007 - Видання офіційне. - Введ. 24.10.07, № 469. - К., 2007. – 14 с.
6. Державний нормативний акт про охорону праці. Схеми та способи керування газовиділенням на виїмкових дільницях вугільних шахт. Державний департамент промислової безпеки, охорони праці й гірничого нагляду. – Київ, 2006. 79 с.
7. В.В. Лукинов, В.С. Кулинич, В.Г. Перепелица и др. , Диплом №280 от 7 июля 2005. Закономерность изменения газовой проницаемости горных пород при переходе из объемного равнокомпонентного напряженного состояния в разнокомпонентное. Научное открытие. (Сборник кратких описаний научных открытий, научных идей, научных гипотез – 2005г.) МААН. Москва. 2006. с. 21-23.
8. Кулинич В.С., Перепелица В.Г., Ефремов И.А. и др. Результаты определения величины и направления главных напряжений в углеродном массиве пласта л1 шахты им. А.Ф.Засядько методом локального гидравлического разрыва (ЛГР) // Геотехническая механика. Сборник научных трудов.- Днепропетровск, ИГТМ НАНУ, 2003, вып.44.- с.156-164.
9. Булат А.Ф., Звягильский Е.Л., Лукинов В.В., Клец А.П., Ефремов И.А., Бокий Б.В., Гуня Д.П., Фичев В.В., Иванов В.П., Тихонов А.А., Чередников В.В. Экспериментальная оценка газопроницаемости подработанного углеродного массива // Наука и образование: Сб. науч. тр. / НГУ.- Днепропетровск, 2004.- Т. 3, № 19.- с. 123-128.
10. Иофис М.А., Шмелев А.И. Инженерная геомеханика при подземных разработках. – М.: Недра, 1985. – 248 с.
11. Ефремов И.А., Бокий В.В., Лукинов В.В., Касимов О.И. Эффективность комплексной дегазации лавы при высокой нагрузке на очистной забой. Геотехническая механика. – Днепропетровск, 2005. – вып. 53. – С. 38-43.
12. Звягильский, Е.Л., Бокий Б.В. Утилизация шахтного метана – путь решения проблем выбросов метана в атмосферу // Горная геология, геотехника и маркшейдерия. Сб. научн. докладов. – Донецк, 2004. – часть I, с. 220 – 228.

УДК 622.411.332.004.14.:622.831.322.002.234

дипл. инж. Алина Мроз, дипл. инж. Ольга Самусь
(НИИ «Фраунхофер УМЗИХТ»),

ШАХТНЫЙ МЕТАН: НОВЫЕ РЕШЕНИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ; СОКРАЩЕНИЕ ВЫБРОСОВ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ

Опис міжнародного проекту сьомої рамкової програми Європейського союзу (EU FP7) «КоМет» (Шахтний метан: Нові рішення використання; скорочення викидів парникових газів), який було запущено в листопаді 2008 року у рамках теми «Технології «чистого» вугілля» (FP7 Energy.6: Clean Coal Technologies).

Coal Mine methane – New Solutions for Use of CMM – reduction of GHG emissions

The EU FP7 project CoMeth (Coal Mine methane – New Solutions for Use of CMM – reduction of GHG emissions) was launched in November 2008 in the framework of activity 6 Clean Coal Technologies energy theme. The overall objective of the project is to contribute to reducing greenhouse gas emissions caused by the uncontrolled release of coal mine methane to the