

произошедшие землетрясения могут привести к быстрому наращиванию концентрации метана;

- сотрудничество, через IT-системы и сети, с другим получением и накоплением данных и системами визуализации.

4. Заключение

Разведка фактических уровней опасности из-за притока метана может быть просто ограничена контролем ее параметров и защитой подвергаемых опасности областей автоматическими системами измерения метана, эти системы можно рассматривать только как вспомогательный инструмент.

Представленные функциональные возможности и способности систематических и всесторонних систем, посвящены контролю связанных и объединенных опасностей, служат, чтобы предупредить, о необходимости быть бдительным и предпринять соответствующие защитные меры против последствий как скрытых так и очевидных, таких как эндогенные пожары, возгорания, вызванные трением обломков горных пород о другие материалы, возгорания, вызванные механическим трением различных частей в оборудовании, электрических дугах или открытом огне при добыче.

УДК 622.411.33

Академик НАН Украины В.Е. Сторишко
(Институт прикладной физики НАН Украины),
канд. физ.-мат. наук Г.В. Кирик (концерн «Укрросметалл»),
канд. физ.-мат. наук А.Д. Стадник (МИКЭМ)

НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ

ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ МЕТАНООТДАЧИ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ

Розглянуті нові технології підвищення метановіддачі вугільних пластів з використанням інертних газів та їх сумішей з іншими, а також устаткування для реалізації запропонованих технологій.

NEW TECHNOLOGIES AND EQUIPMENT USED FOR INCREASING METHANE RECOVERY IN THE COAL SEAMS

New technologies are considered for increasing methane recovery in the coal seams with the help of inertia gases and their mixing with other gases as well as equipment used for these technologies.

Известно, что запасы метана угольных пластов превышают запасы природного газа и оцениваются в 260 трлн. м³. На долю Украины приходится примерно 12 - 25 трлн. м³.

Общие ресурсы метана в угольных пластах России составляют, по различным источникам, 48 - 65 трлн. м³. Около 80 % угольных шахт России классифицируются как газовые, из них 50 % имеют относительную метанообильность свыше 10 м³/т. По прогнозам российских ученых, в Кузнецком угольном бассейне сосредоточено порядка 13 триллионов кубометров извлекаемого из

угольных пластов метана. При добыче метана из угольных месторождений проблема состоит в использовании метана, поступающего в дегазационные системы шахты, и содержащегося в адсорбированном виде в угле. Это направление широко исследуется [1-7].

Угли можно представлять, как полидисперсное саморегулирующее многокомпонентное образование, способное к изменению своей структуры под воздействием внешних напряжений и сорбируемых газов, которое является своеобразным высокомолекулярным природным полимером с развитой пористостью и адсорбированными на поверхности, а также растворенными в межмолекулярном пространстве молекулами метана и других газов. Наряду с этим следует учитывать метан, растворенный в воде.

Предлагаемая нами технология базируется на использовании бинарных газов, в частности CO_2 и азота, закачиваемых в угольные пласты в известных объемах, пропорциях, последовательности, заданных значениях давления, времени выдержки, а также последующим использованием газов. Физической причиной эффективности предлагаемой технологии есть различие в величинах энергии сорбции углем различных газов. Укажем, что, нагнетание CO_2 может вызвать разбухание угля. Но с этой проблемой можно справиться стандартными методами, например проведением гидроразрыва.

Большой интерес к этим технологиям в США, Англии, Германии, Китае, Канаде, Австралии, Японии и др. странах. По-видимому, одним из первых патентов, в которых предлагается закачивать инертный газ, в частности – азот, является патент США №4 883 122. Отмечается, что смешивание азота и CO_2 уменьшает эффективность десорбции метана.

Заметим, что одной из причин того, что полевые проекты не стали экономичными является относительно высокая стоимость CO_2 . В связи с этим мы предполагаем, как вариант, использовать CO_2 тепловых электростанций.

При этом, модель вытесняющего действия азота представлена на рис. 1.

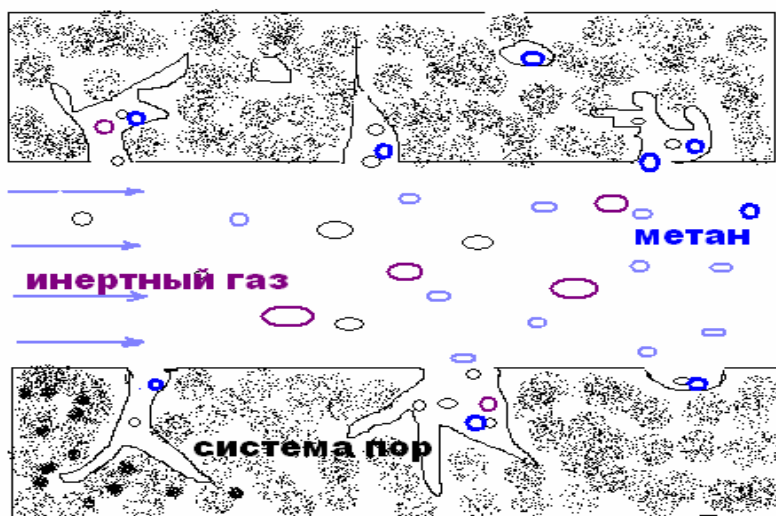


Рис. 1 – Модель вытеснения метана азотом

При закачке азота уменьшается парциальное давление метана в свободном пространстве (скважине, шахте) и метан выходит из пористой системы угля. Поскольку энергия сорбции молекул CO_2 углем больше, чем молекул CH_4 , то на развитой поверхности угля со временем сорбируется CO_2 , а метан десорбируется и выходя в свободное пространство уносится потоком азота.

После закачки вытесняющих метан газов происходит его перемещение в блоках, трещиновато-пористой среде и диффузия в угле. Молекулы метана сорбируются поверхностью углей, на которой может присутствовать слой воды. Они могут десорбироваться при нагревании, понижении давления, добавлении в газовую среду других газов с более высоким значением энергии сорбции. Повышение давления после закачки газов обеспечивает появление диффузионного потока. При этом плотность диффузионного потока можно представить известным соотношением [6]:

$$J = -D(\partial c/\partial x),$$

где D - коэффициент диффузии; $\partial c/\partial x$ – градиент концентрации.

Отметим, что величина коэффициента диффузии в углях имеет значительный разброс. При этом, коэффициент диффузии зависит от размеров диффундирующих молекул, особенностей взаимодействия их с фрагментами макромолекул, подвижности полимерных цепей, свободного объема, и неоднородностью структуры угля. Пространственно-временное распределение концентрации:

$$\frac{\partial c}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x}(-J) = \frac{\partial}{\partial x} D \frac{\partial c}{\partial x}.$$

Трехмерная диффузии [$c(x, y, z; t)$] описывается уравнениями:

$$J = -D \text{grad } c$$

$$\frac{\partial c}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D \frac{\partial c}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(D \frac{\partial c}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(D \frac{\partial c}{\partial z} \right),$$

Рассмотрим перенос газов через сквозные поры в угле. При относительно малых давлениях газа или размерах пор (r_0), когда частота столкновений молекул газа со стенками пор превышает частоту взаимных столкновений молекул, т. е. средняя длина их свободного пробега $l \gg r_0$ наблюдается так называемая кнудсеновская диффузия. При этом газовый поток через пористую перегородку пропорционален средней скорости молекул и константа газопроницаемости определяется из уравнения:

$$\Pi = \frac{8r_0 N_s \pi}{3N_A} (2\pi mkT)^{-1/2},$$

где N_s - поверхностная плотность пор в перегородке.

Поскольку средняя скорость молекул обратно пропорциональна квадратному корню из их масс ($\Pi \sim 1/\sqrt{m}$), компоненты разделяемой газовой смеси проникают через поры мембраны с различными скоростями; в результате прошедшая через перегородку смесь обогащается более легкими компонентами. С увеличением давления газа в таких пористых системах возрастает поверхностная концентрация молекул, адсорбированных на стенках пор. Образовавшийся адсорбционный слой может оказаться подвижным и перемещаться вдоль поверхности поры, вследствие чего параллельно с объемным диффузионным переносом в ней возможна поверхностная диффузия газа [6].

Рассмотрим наиболее распространенные модели (рис. 2) и уравнения изотерм адсорбции [7].

Модель Ленгмюра. Основные положения, лежащие в основе вывода изотермы адсорбции согласно модели Ленгмюра следующие:

- поверхность адсорбента однородна, то есть теплота адсорбции на разных участках поверхности одинакова;

- теплота адсорбции не зависит от присутствия других адсорбированных молекул, следовательно, можно пренебречь взаимодействием адсорбированных молекул между собой;

- молекулы не могут адсорбироваться на молекулах первого слоя и максимальная адсорбция наблюдается при плотной упаковке адсорбированных молекул на поверхности в слое толщиной в одну молекулу.

Адсорбированные молекулы находятся в динамическом равновесии с молекулами в газовой фазе. Такая модель приводит к известному уравнению изотермы Ленгмюра:

$$a = a_m \frac{Kp}{1 + Kp},$$

где - константа адсорбционного равновесия;

a_m

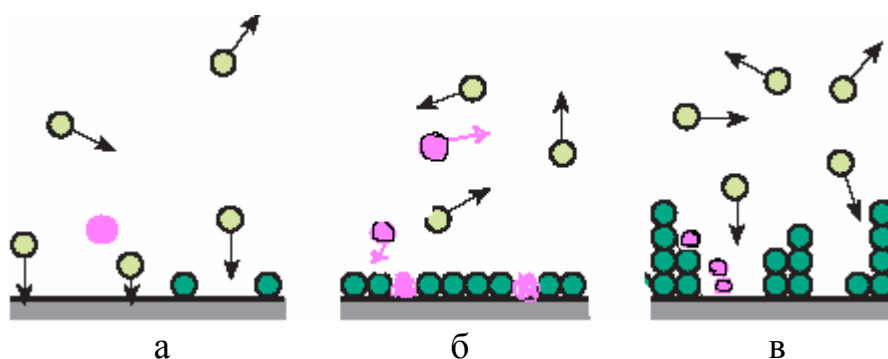
- максимальная адсорбция.

В области малых давлений уравнение Ленгмюра переходит в уравнение изотермы Генри:

$$a = K_H p, \quad \text{где } K_H = Ka_m$$

Модель БЭТ. Известная теория полимолекулярной адсорбции Брунауэра, Эммета и Теллера, (БЭТ) основана на модели адсорбционного процесса, предложен-

ной Ленгмюром. В модели БЭТ учтена возможность полимолекулярной адсорбции (рис. 2, б).



а – модель может описываться уравнением Генри; б- модель Ленгмюра; в – модель БЭТ

Рис. 2 – Модельные представления о распределении молекул на поверхности угля

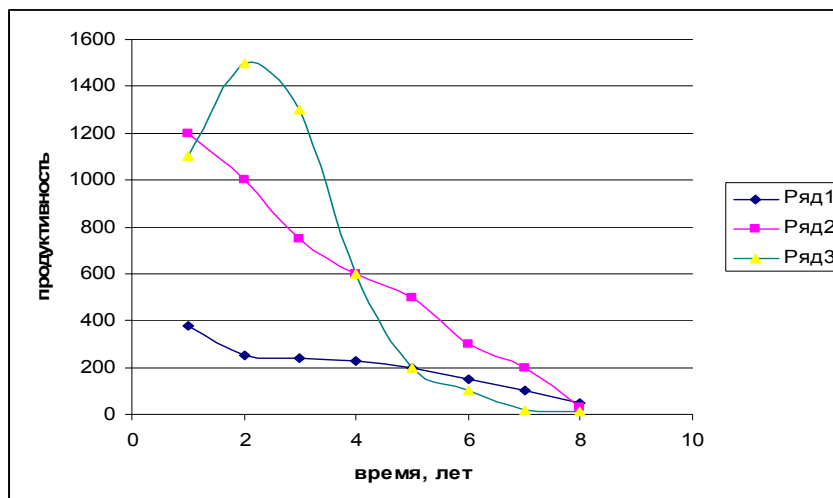
Предполагается, что для реализации предлагаемой технологии могут использоваться разработанные концерном «Укрросметалл» передвижные азотные компрессорные станции, а также контейнерные газоутилизационные установки. Концерн «Укрросметалл» является разработчиком и единственным в Украине производителем передвижных азотных мембранных станций для получения из атмосферного воздуха азота концентрацией от 90 % до 99,5 %, используемого для предупреждения, локализации и тушения подземных пожаров в шахтах, других замкнутых пространствах, для обеспечения безопасности ведения горных работ; для обеспечения взрывобезопасности при добыче, транспортировке, хранении, переработке нефтепродуктов и химических веществ; для освоения скважин в нефтегазодобывающей промышленности; повышения пластового давления, разработки технологий увеличения метаноотдачи угольных пластов. На азотную установку имеется сертификат соответствия Госстандарта России.

Создана также установка газоутилизационная типа УКГ-1, которая включена в комплекс оборудования по извлечению метана из угольных пластов (шахта «Молодогвардейская»).

Известные данные зарубежных авторов, иллюстрирующие эффективность метода, показаны на рис. 3. Протекающие диффузионные процессы сопровождаются замещением метана на молекулы закачиваемых газов, повышая тем самым степень извлечения метана при дегазации угольных пластов.

Экономическая целесообразность крупномасштабной промышленной добычи метана на углегазовых месторождениях подтвердились ходом развития углегазовых промыслов в США и результатами работ в Австралии, Китае и других странах. Например, по заказу Департамента энергетики США в научных и опытных разработках (2004 г.) начали применять азот для повышения метаноотдачи угольных пластов. При этом выполнено ТЭО целесообразности использования бинарных газов, одним из которых является азот. Корпорации Petromin Resources и

China United Coal bed Methane Co запланировали (2007 г.) провести пятилетнее исследование инъекций CO₂ для повышения метаноотдачи угольных пластов.



1 – без закачки; 2 – закачка азота; 3 – закачка CO₂

Рис. 3 – Прогнозируемая зависимость метаноотдачи угольного пласта от времени после закачки газов

Решение этих проблем будет способствовать увеличению объемов добычи угля и снижению его себестоимости, увеличению полноты и комплексности использования энергетического топлива, повышению безопасности подземной угледобычи в условиях роста природного содержания метана в угольных пластах, улучшению экологических показателей – за счет ограничения выбросов метана в атмосферу. Предлагаемые разработки компрессорных машин и оборудования будут способствовать внедрению комплексного технического, технологического и экономического подхода к повышению эффективности горнорудной отрасли.

Выводы

1. Возможна разработка и выпуск усовершенствованных установок для повышения метаноотдачи угольных пластов при их дегазации.

2. Основной экономический эффект при внедрении предлагаемой технологии связан с вкладом составляющих: эффект от реализации метана; эффект от повышения темпа проведения подготовительных выработок в шахтах; эффект от повышения нагрузки на очистной забой; эффект от снижения эмиссии метана в атмосферу; эффект от сокращения затрат на проведение традиционных методов дегазации; эффект от сокращения затрат на ликвидацию последствий аварий в шахтах, эффект от применения новых установок и технологий дегазации.

3. Для разработки предлагаемых инновационных технологий необходимы лабораторные исследования, полупромышленные и промышленные испытания, которые можно осуществить в рамках научного и производственного потенциала концерна «Укрросметалл» в кооперации с другими организациями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Скочинский А.А., Ходот В.В. и др. Метан в угольных пластах. М.: Углетехиздат, 1958. – 256 с.
2. Малышев Ю.Н., Трубецкой К.Н., Айруни А.Т. Фундаментально прикладные методы решения проблемы метана угольных пластов. М.: Изд-во АГН, 2000.
3. John Squarek and Mike Dawson, Coalbed methane expands in Canada, Oil & Gas Journal, 24 July 2006. – P. 37 – 40.
4. Ayers Walter B. (Jr). Coalbed gas systems, resources, and production and a review of contrasting cases from the San Juan and Powder River basins //AAPG Bull. 2002, 86. – № 11. – P. 1853 – 1890.
5. Забурдяев В.С. Обоснование способов и параметров извлечения метана при высокоинтенсивной обработке газоносных угольных пластов. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук. Москва. – 2007.
6. Физический энциклопедический словарь. Под редакцией Прохорова А.М. – М.: Советская Энциклопедия, 1983.
7. Рощина Т.М. Адсорбционные явления и поверхность // Соросовский образовательный журнал, 1998. – № 2.

УДК 539.143.43:552.574

Чл.- корр. НАНУ А.Д. Алексеев,
канд. физ.-мат. наук Е.В. Ульянова (ИФГП НАН Украины),
канд. хим. наук В.В. Трачевский (ИМФ НАН Украины),
инж. С.В. Зимина (Технический центр НАН Украины)

ИЗУЧЕНИЕ СООТНОШЕНИЯ СТРУКТУРНЫХ ГРУПП В УГЛЯХ РАЗНОЙ СТЕПЕНИ МЕТАМОРФИЗМА МЕТОДОМ ^{13}C ЯМР

Розроблено методологію проведення якісної та кількісної оцінки характеру розподілу атомів вуглецю між фрагментами різної функціональної належності у вугільних композиціях, що відрізняються ступенем метаморфізму, методом ЯМР/MAS та ЯМР/CPMAS ^{13}C .

INVESTIGATION OF THE STRUCTURAL FRACTIONS DISTRIBUTION IN COALS AT VARIOUS STAGES OF METAMORPHISM USING ^{13}C NMR TECHNIQUE

The procedure was developed allowing both qualitative and quantitative estimation of carbons distribution between fractions with various functional relations in coal compositions differing in metamorphism level based on NMR/MAS and NMR/CPMAS ^{13}C techniques.

Уголь является сложным многокомпонентным с широким спектром химического состава и физических свойств. Модели структуры углей, которые существуют на данный момент, не объясняют всех различий в свойствах углей, наблюдаемых при переходе от одной марки к другой, а так же в углях одной марки, взятых из разных шахтопластов. В связи с этим все большее внимание уделяется данным о распределении углерода, водорода, кислорода между структурными и функциональными группами, расположении структурных единиц и связях между ними [1]. Органическая составляющая углей представляет собой композицию, составленную молекулами с различными химическими функциями, объединенных множественными связями, основными среди которых являются электронно-донорно-акцепторные (ЭДА) взаимодействия.