

С. В. Гошовский, д-р техн. наук, профессор, директор УкрГГРИ,
П. Т. Сиротенко, канд. техн. наук, старший научный сотрудник
отдела инновационных технологий (УкрГГРИ, г. Киев, Украина)

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ МЕТАНА УГОЛЬНЫХ ШАХТ УКРАИНЫ И ВОЗМОЖНОСТИ ЕГО ОСВОЕНИЯ

Рассмотрены аспекты природы создания и сохранения метана в угольных пластах, показано, что основные запасы газа находятся не в поровом пространстве, а преимущественно адсорбированы на поверхности углей. Приведены принципы выделения метана из шахтной метановоздушной смеси и оценены варианты технологий извлечения и использования метана в народном хозяйстве и предложены пути развития метановой отрасли в Украине.

Ключевые слова: метан, уголь, угольный пласт, запасы, поровый простор, адсорбция, диффузия, сорбция, десорбция, извлечение, сохранение, коллектор, метановоздушная смесь.

В последнее время нетрадиционным энергетическим ресурсам уделяется большое внимание как во всем мире, так и в Украине. Среди нетрадиционных ресурсов в Украине наибольшие потенциальные и прогнозные ресурсы имеет метан угольных пластов. Так, согласно проекта обновлённой энергетической стратегии Украины до 2030 г. [5], потенциальные ресурсы Украины метана угольных пластов составляют 12–25 трл м³, а его прогнозируемая возможная добыча в Украине составит 2–4 трл м³, однако освоение метана угольных пластов в Украине происходит медленно, поскольку этому препятствуют как геологические, так и технические проблемы [2]. Среди многих предложений для освоения запасов метана угольных пластов необходимо отдать предпочтение предложениям ГРГП “Донецкгеология” [2], в которых приоритетными являются геологические подходы в изучении и освоении угольных месторождений, а также привлечение научно-технического обеспечения. ГРГП “Донецкгеология”

предложено первоочередной задачей считать проведение геологического районирования с целью выявления наиболее перспективных площадей для детального изучения и добычи метана угольных пластов, а также установления форм и мест локализации угольного метана, в том числе на основе опыта зарубежных фирм разных стран.

В ряде научных организаций сегодня ведутся дискуссии об особенностях угольных месторождений Украины, в частности подчёркивается, что причиной низкой извлекаемости метана из угольных пластов является их небольшая толщина (1–2 м), тогда как наиболее эффективное извлечение угольного метана продемонстрировано за рубежом на угольных месторождениях с большой мощностью угольных пластов (10–20 м) [10]. Так, конечно, на показатели добычи метана влияют параметры угольных пластов [11, 12], но это не единственное препятствие эффективному извлечению метана из угольных пластов. Среди показателей, которые влияют на

добычу метана, необходимо выделить в первую очередь используемую технологию добычи метана из угольных пластов, а также их метанообильность, а Украина, как известно, имеет много сверхкатегорийных шахт по метану. В настоящее время форма нахождения метана в угольных пластах является установленной и описанной в зарубежных источниках информации [11].

Следует обратить внимание, что в США уже разработана и внедрена технология извлечения до 80 % метана, содержащегося в угольных пластах. При этом такая степень извлечения достигается путем использования пневмо- и гидродинамических воздействий на угольные пласты, стимулирующих повышенную газоотдачу углей. Сегодня в данном направлении ведутся интенсивные научно-исследовательские работы в ряде зарубежных стран, а именно: Австралии, Китае, Канаде, Польше, Германии, Великобритании и России [7].

В работе [7] подчеркивается, что американские технологии при 2-метровой толщине пластов в Донбассе и, как правило, очень низкой проницаемости угольных пластов не пригодны. Надо отметить, что в технологии США извлечение газов из низкопроницаемых пластов разных горных пород производится путем гидравлического удара на угольный массив и в нем образуются микротрещины. После этого в горный массив под большим давлением закачивают воду, которая заполняет трещины песком, затем воду откачивают, а песок свободно пропускает метан по созданным трещинам и откачивающей скважине. Отсюда вытекает, что проницаемость угольных пластов необходимо искусственно увеличивать, иначе добыть метан невозможно. Другое дело, что в тонких угольных пластах требуется очень большая точность для удержания горизонтального бурения в пласте, но на сегодняшний день эта проблема может быть разрешимой [3].

В работе [1] академик НАНУ А. Булат правильно охарактеризовал проблемы Украины при реализации извлечения

метана из угольных пластов, среди них это использование обычной технологии бурения подземных и наземных дегазационных скважин с последующим подключением их к вакуумным станциям. Такой подход совершенно неприемлем, поскольку с дренируемой площади будет забираться только свободный газ, находящийся в трещинах угля, а это 1–2 % от всего газа в угольном пласте [12]. Кроме того, в данной работе обращено внимание и на другие проблемы извлечения метана из угольных пластов, основными из которых являются технические и методические. К техническим проблемам относятся: отсутствие технологии и техники бурения длинных горизонтальных подземных дегазационных скважин; большая протяженность дегазационных газопроводов и их некачественная герметичность, отсутствие техники направленного вертикального бурения для сокращения пути транспортировки дегазационного метана к поверхности. Методические проблемы – это отсутствие научно обоснованных методик комплексной дегазации углепородных массивов; активной дегазации угольных пластов; отсутствие надежной системы контроля количества извлекаемого газа [1].

Изложенные выше проблемы добычи метана из угольных пластов не являются неразрешимыми, но они будут значительно быстрее решены при привлечении специалистов геологических и угольных предприятий.

Теоретические основы и аспекты технологии исследования и разработки коллекторов метана угольных пластов

Структура угля. В практике геологии встречаются два типа трещиноватых коллекторов, а именно: метановых угольных пластов (МУП) и традиционные. Между ними существуют существенные отличия, так, МУП имеет основную первичную пористость матричную (минерально-скелетную) и значительно меньшую вторичную пористость матрицы (скелета) угля – трещинную (рис. 1 и 2) [11] и табл. 1.

Таблица 1. Сравнение характеристик коллекторов метана угольных пластов и традиционного газа

Характеристика	Традиционный газ	Метан угольных пластов
Газообразование	Газ образовывается в горной породе, а потом мигрирует внутри коллектора	Газ образовывается и улавливается в угле
Структура	Произвольно рассредоточенные трещины	Расположенные через равные интервалы кливажи
Механизм сохранения газа	Сжатие	Адсорбция
Транспортный механизм	Градиент давления (закон Дарси)	Градиент концентрации (закон диффузии Фика) и градиент давления (закон Дарси)
Отдача пласта	Стартовая скорость пласта высокая, а потом падает. Слабая отдача требует водной инициализации	Газовая скорость увеличивается со временем, а потом падает. Добыча инициализируется главным образом водой
Механические свойства	Модуль Юнга $\sim 10^6$ Сжимаемость за счёт пор $\sim 10^{-6}$	Модуль Юнга $\sim 10^5$ Сжимаемость за счёт пор $\sim 10^{-4}$
Хранение газа	Хранение газа в макропорах Закон реального газа	Хранение газа с помощью адсорбции на поверхностях микропор
Зависимость добычи	График добычи согласно установленным графикам кривых падения	Начальное отрицательное падение
Содержание газа	Содержание газа получают из каротажных данных	Содержание газа получают из kernового материала
Газоводяной фактор	Соотношение газа к воде уменьшается со временем	Соотношение газа к воде увеличивается со временем на последующих стадиях
Тип породы коллектора	Неорганическая порода коллектора	Органическая порода коллектора
Гидравлический разрыв пласта	Гидравлический разрыв может быть потребоваться для усиления потока	Гидравлический разрыв может потребоваться в некоторых бассейнах
Размеры пор	Макропоры от 1 мк до 1 мм	Микропоры от 5 Å до 50 Å
Связь коллектора с материнской породой	Коллектор и материнская порода независимые	Коллектор и материнская порода одно и то же
Зависимость проницаемости	Проницаемость не зависит от напряжения	Проницаемость очень сильно зависит от напряжения
Влияние скважин друг на друга	Взаимодействие скважин негативно влияет друг на друга	Взаимодействие скважин помогает добыче. Необходимо бурить множество скважин для разработки месторождения

Первичная пористость обеспечивает высокое сохранение газа и низкую проницаемость, тогда как вторичная пористость матрицы (трещиноватость) угля имеет высокую проницаемость и низкий уровень сохранения газа. Трещиноватость

угля имеет кливажный характер, когда происходит расслоение, расчленение угля, то есть делимость горной породы по густо развитой системе малых трещин на пластинки, волокна, линзы, столбики и т. д. (рис. 3–6). Кливажный характер угля

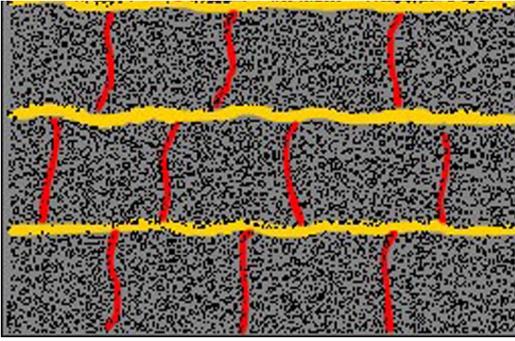


Рис. 1. Структура угля (источник: Morad K., 2007)

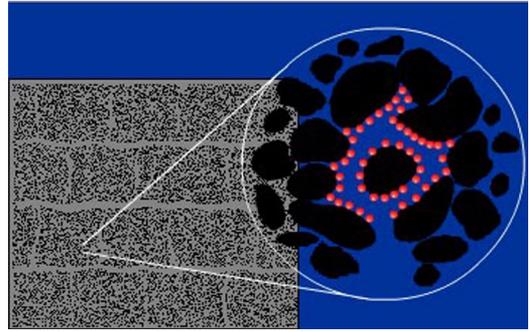


Рис. 2. Механизм сохранения метана (источник: Morad K., 2007)

чётко виден на его микроскопическом изображении (рис. 3 и 4) при малом масштабе увеличения. В то же время угольные породы имеют двойную систему пор, а именно: микропоры в матрице породы (рис. 3, 5, 6) и макропоры, которые образованы естественной сеткой трещин, параллельных и перпендикулярных напластованию. Такие трещины образуются при углефикации, причём из-за удаления воды объём матрицы уменьшается и образуются ортогональные кливажные

трещины. Главные (лицевые) трещины имеют протяженный характер, что позволяет им обеспечивать движение флюида к открытой поверхности, тогда как перпендикулярные трещины являются перпендикулярными к главному кливажу и носят также название второстепенного кливажа (рис. 1). Таким образом, кливажные трещины обеспечивают уровень проницаемости угля.

Система двойной пористости включает матричную (главную пористость),

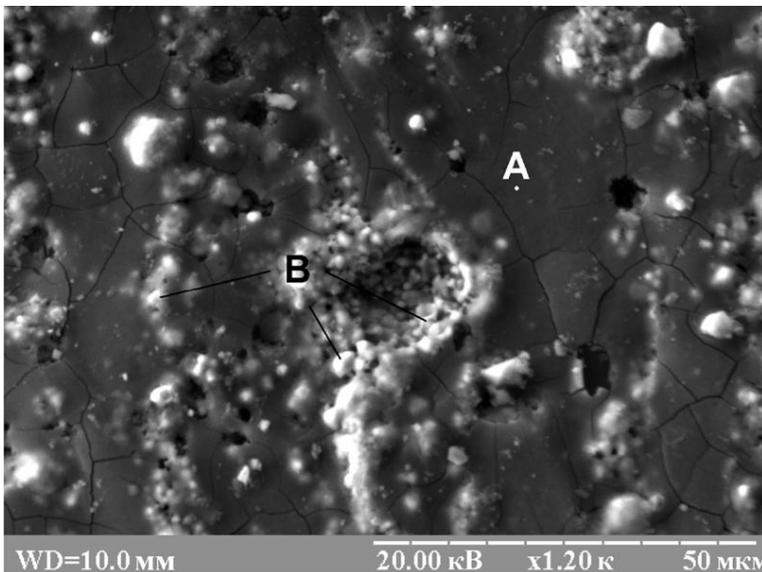


Рис. 3. Электронно-микроскопическое изображение образца угля, увеличение 1200 крат. Система трещин в угле: А – непосредственно поверхность угля; В – минеральные включения фрамбоидального пирита. Источник: Ковтун А. В., 2013, лаборатория прецизионных аналитических исследований УкрГГРИ.

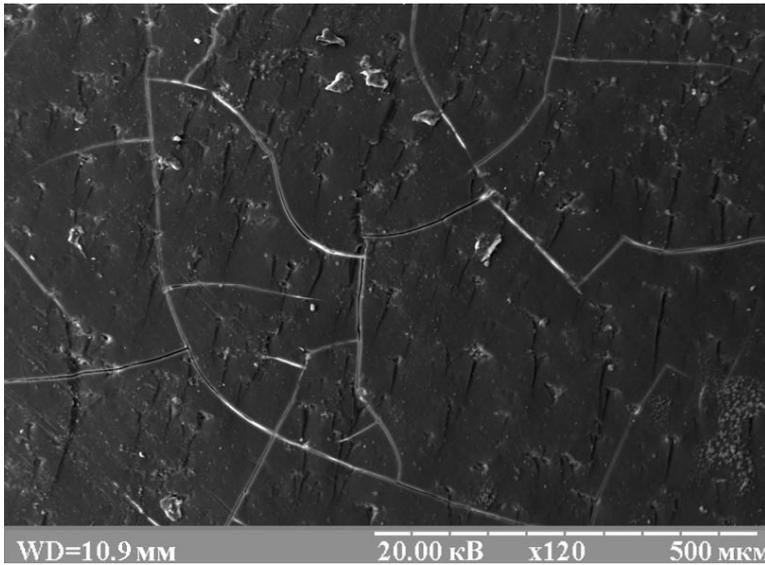


Рис. 4. Электронно-микроскопическое изображение образца угля, увеличение 120 крат. Структура поверхности угля и морфология трещин. Источник: Ковтун А. В., 2013, лаборатория прецизионных аналитических исследований УкрГГРИ.

в которой газ не хранится “внутри” пор, поскольку он адсорбируется на поверхности микропор. Матричная проницаемость является незначительной, при этом она

обеспечивается через диффузию. Главный кливаж является непрерывным через коллектор и поэтому является основным путём распространения для газа к потоку.

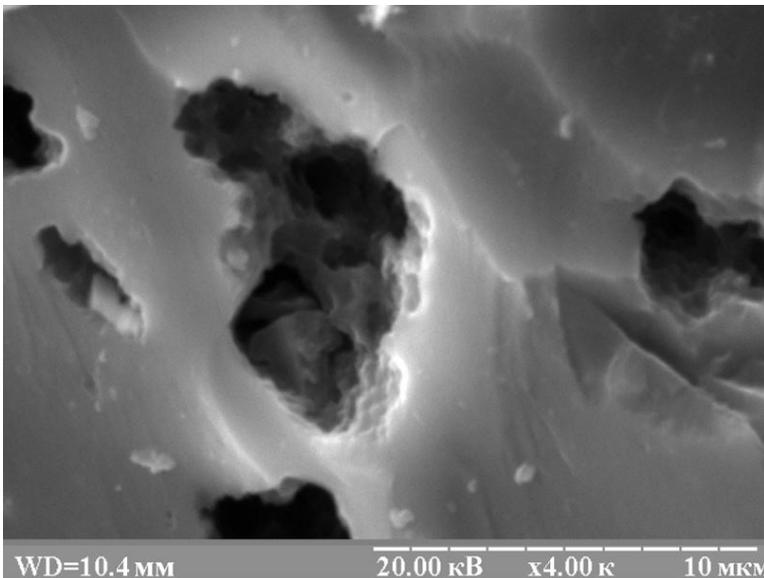


Рис. 5. Электронно-микроскопическое изображение образца угля, увеличение 4 000 крат. Структура микропор. Размер пор 5×10 микрон. Источник: Ковтун А. В., 2013, лаборатория прецизионных аналитических исследований УкрГГРИ.

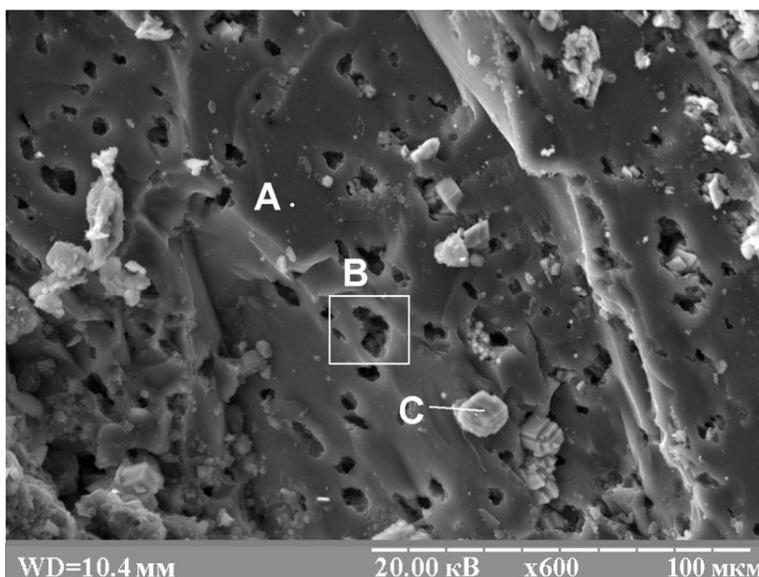


Рис. 6. Электронно-микроскопическое изображение образца угля, увеличение 600 крат. Зона с повышенной пористостью, а также повышенной сульфатной минерализацией. А – поверхность угля; В – морфология микропор; С – гипс (минеральные включения). Источник: Ковтун А. В., 2013, лаборатория прецизионных аналитических исследований УкрГГРИ.

Поперечный кливаж, лишённый непрерывности, и является сетевым механизмом для главного кливажа.

Полученные отображения магнитного резонанса на угольных образцах показали, что сеть кливажа является направленной, причём ориентация проницаемости имеет анизотропию.

Типичная объёмная пористость угля составляет более 1 % и обеспечивается с помощью кливажного пространства, при этом проницаемость угля также связана с кливажным пространством и составляет от 0,1 до 100 мД. Приведенное выше позволяет сделать следующие выводы: угольный массив имеет сеть трещин и матрицу; матрица накапливает объём газа; матрица имеет незначительную проницаемость; проницаемость и пористость угля вызываются кливажем.

Известно, что процессы образования метана протекали одновременно с формированием пластов угля и метаморфизмом первичного органического вещества [4]. В породах (углях) метан находится

в двух состояниях: в виде свободного и сорбированного (связанного) газа. При больших глубинах угольных пластов из-за большого давления (до 130 атм.) основное количество метана находится в сорбированном состоянии. Существуют три формы связи газа с твёрдым веществом: *адсорбция* (связывание молекул газа на поверхности твёрдого вещества под действием сил молекулярного притяжения), *абсорбция* (проникновение молекул газа в вещество без химического воздействия и образования “твёрдого раствора”) и *химосорбция* (химическое соединение молекул газа и твёрдого вещества).

Основное количество сорбированного породами метана находится в *адсорбированном* состоянии, при этом с повышением давления газа количество сорбированного метана увеличивается, а с повышением температуры – уменьшается. Сорбционная способность углей при данной температуре зависит от давления газа и характеризуется изотермами сорбции (закон Ленгмюра) (рис. 7, 8, 13) [11].

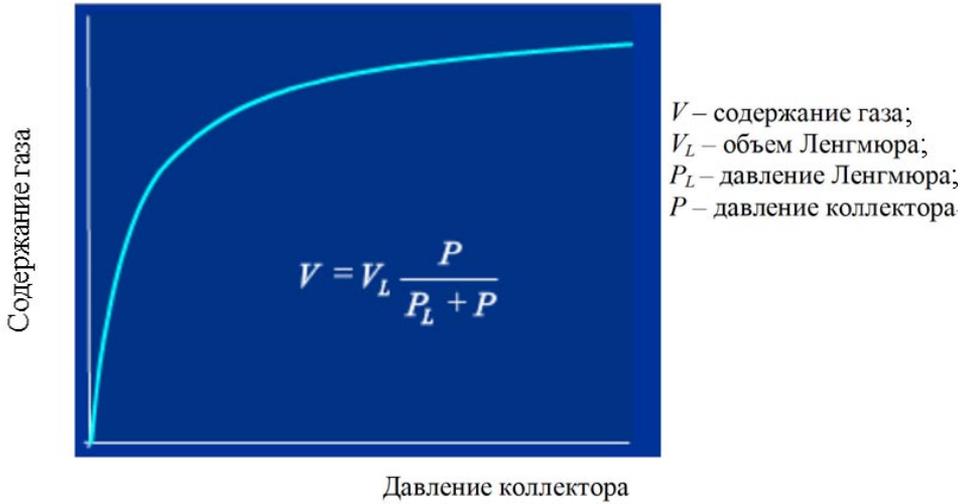


Рис. 7. Изотерма Ленгмюра (источник: Morad K., 2007)

Также важными характеристиками для угольного метана являются [4]: *метаносность* и *метаноемкость*. *Метаносностью* называется количество метана, содержащегося в природных условиях в единице веса или в единице объема угля или породы, имеет размерность $\text{м}^3/\text{т}$ или $\text{м}^3/\text{м}^3$. *Метаноемкость* – количество газа в свободном и сорбированном состоянии, которое может поглотить единица веса, или единица

объема угля при данном давлении и температуре.

Метаноемкость определяется в лабораторных условиях, но поскольку из-за невозможности воссоздания в лаборатории полностью природных условий метаносность обычно отличается от метаноемкости.

Основными факторами, определяющими метаносность угольных пластов, являются: степень метаморфизма угля,

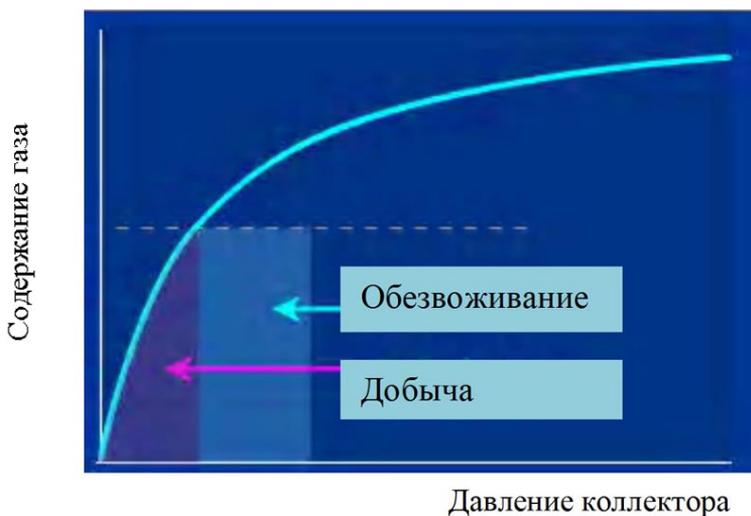


Рис. 8. Влажный и сухой уголь (источник: Morad K., 2007)

сорбционная способность, пористость и газопроницаемость угольного пласта, влажность, геологическая история месторождения, глубина залегания, гидрогеология и угленасыщенность [4].

С увеличением степени метаморфизма угля возрастает количество образовавшегося в нем метана (объем образовавшегося метана может в несколько десятков раз превышать объем угля). Под метаморфизмом понимается необратимый процесс повышения содержания углерода в результате изменения строения углей под действием температуры и давления, развивающихся при геологических процессах.

Также сорбционная способность увеличивается с повышением степени метаморфизма угля, при этом сорбционная способность углей значительно выше, чем пород. Пористость является одним из факторов, определяющим количество газа, находящегося в свободном и сорбированном состоянии. Пористость углей, как правило, находится в пределах от 1 до 15 %, а пористость пород – от 0 до 60 %.

Проницаемость угля типичная: от 0,1 до 100 мД. Матрица сохраняет объем газа и имеет очень малую проницаемость. Проницаемость и пористость зависят от кливажа [11]. Адсорбционная способность отображена на рис. 7, она соответствует закону Ленгмюра, график имеет нелинейный

закон изменения содержания объема метана от давления на месторождении при постоянной температуре. На рис. 8 показаны процессы обезвоживания и добычи газа, из него следует, что после обезвоживания угля происходит выход метана из него.

На рис. 9 отображены процессы извлечения метана из угольных пластов, а именно: десорбция, диффузия и поток Дарси. Наибольшую привлекательность для извлечения метана из угля имеет десорбция. В США рядом патентов защищены методы извлечения метана из угольных пластов, в которых предложено использовать десорбцию метана с помощью нагнетания в угольный пласт газов двуокиси углерода (CO_2) и азота (N_2) как отдельно, так и совместно. В то же время количество патентов США, которые защищают технологию гидродинамического воздействия на угольный пласт, не уменьшается. При реализации технологии извлечения метана из угольных пластов с помощью десорбции бурят с дневной поверхности как минимум две вертикальные скважины, через одну из которых в угольный пласт нагнетают газ (двуокись углерода CO_2 или азот N_2), а с помощью другой скважины извлекают из угольного пласта метан (рис. 14).

На рис. 10 продемонстрировано действие обычного уплотнения (Сотрас-

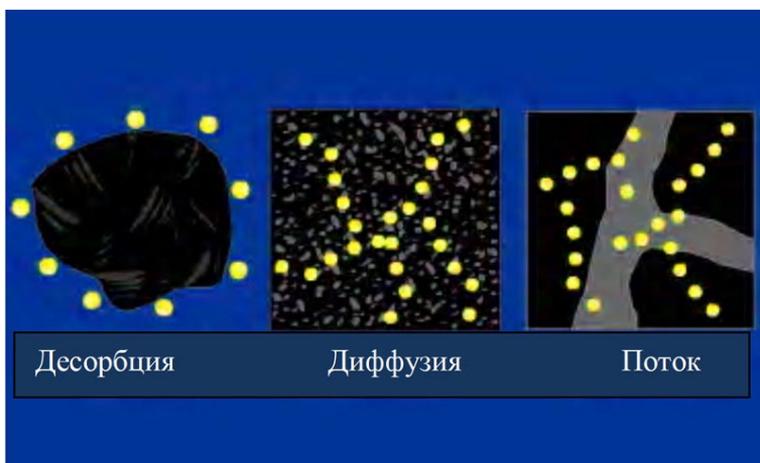


Рис. 9. Механизм транспортирования метана (источник: Morad K., 2007)

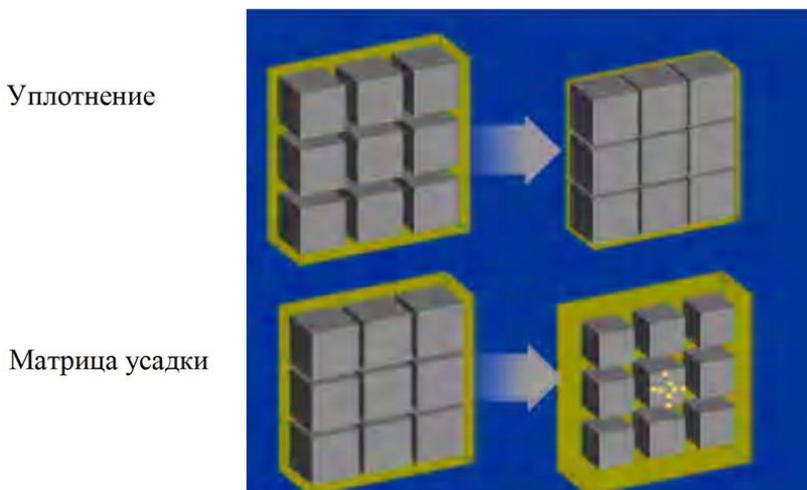


Рис. 10. Уплотнение и матрица усадки (источник: Morad К., 2007)

tion) на минеральный скелет угля, при этом элементы матрицы (минерального скелета) угля уплотняют существующие между ними зазоры (трещины), тогда как в матрице усадки (Shrinkage) происходит уменьшение размера элементов матрицы (минерального скелета), при этом увеличиваются каналы сбора метана из угольного пласта. Действие механизма уплотнения (Compaction) и усадки (Shrinkage) отображено на рис. 11 и определяется величиной давления в коллекторе.

При малых давлениях в коллекторе действует механизм усадки, а при больших давлениях действует механизм уплотнения. С увеличением давления матрица претерпевает усадку, а относительная проницаемость падает по экспоненциальному закону и при достижении минимума относительной проницаемости она может незначительно повышаться при уплотнении породы.

Рис. 12 отображает влияние насыщения водой пласта на относительную про-

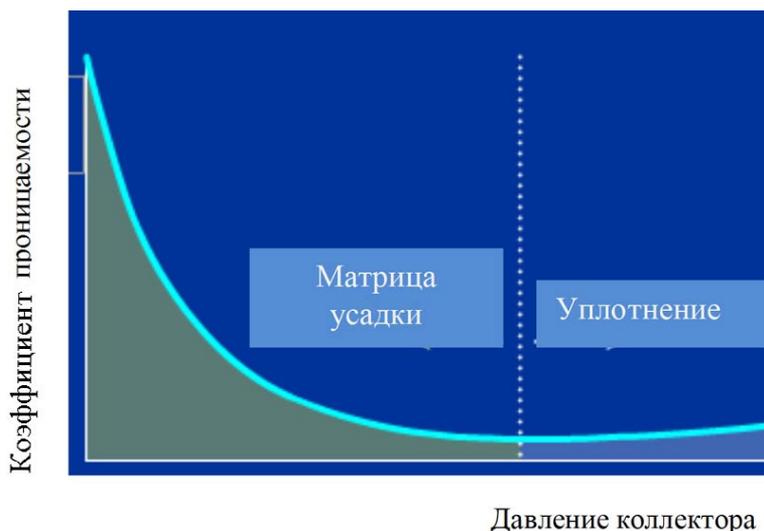


Рис. 11. Газопроницаемость угля (источник: Morad К., 2007)

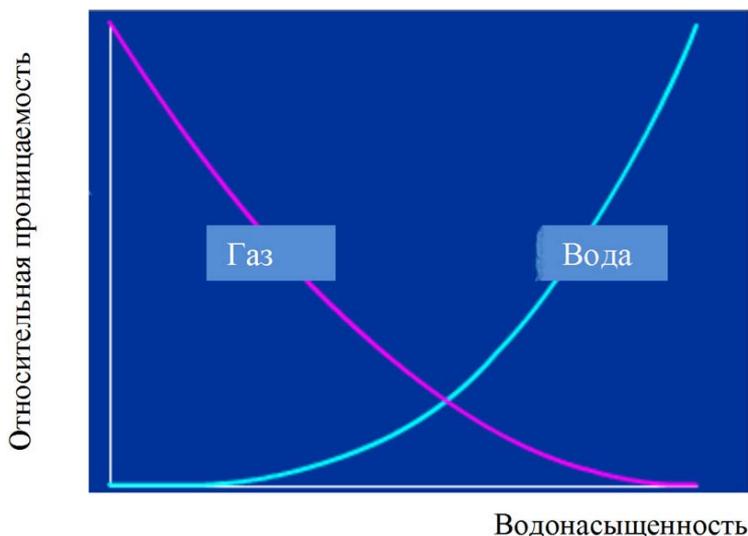


Рис. 12. Газопроницаемость угля (источник: Morad K., 2007)

ницаемость, при этом рост насыщения водой пласта приводит к уменьшению относительной проницаемости.

Исследованиями установлено, что основной метан находится в адсорбированном состоянии (98 %) и только 1–2 % метана находится в свободном состоянии.

Особенностью месторождений угля является то, что в традиционных залежах природный газ находится в свободном состоянии в пористых коллекторах, тогда как в угольных пластах метан сорбирован углем или заземлен в мельчайших трещинах. Чтобы его извлечь, необходимо раскрыть трещины и создать условия для

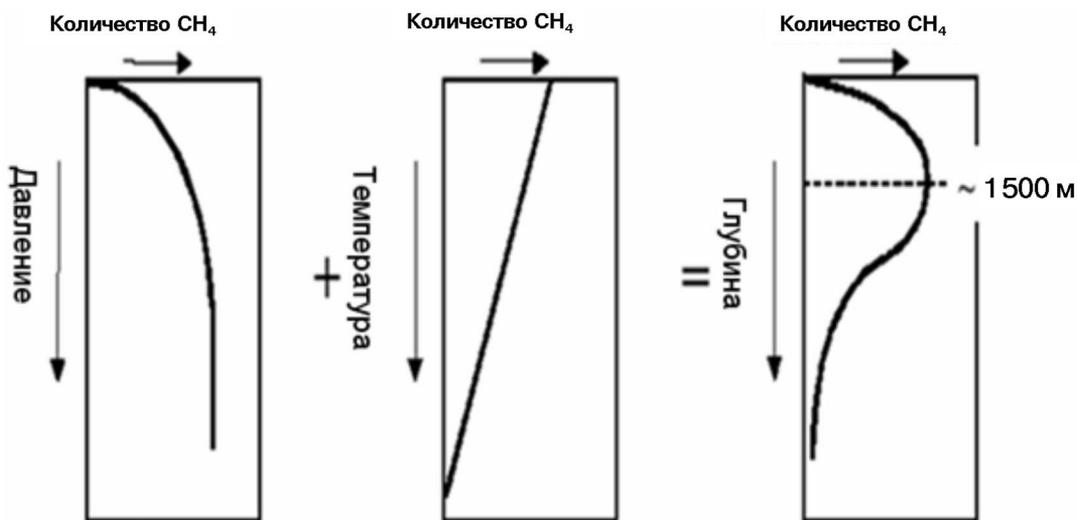


Рис.13. Схематическое изображение возможности извлечения метана от геологических параметров (источник: F. Van Bergen, H. J. Pagnier)

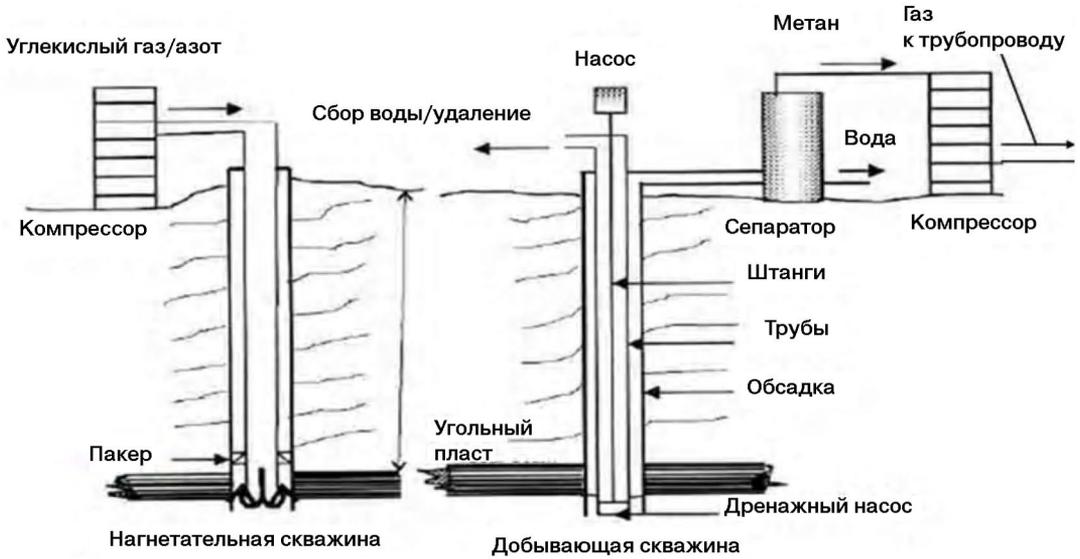


Рис. 14. Схематическое изображение системы извлечения метана угольных пластов (источник: О. Н. Banzand J. I. et al., 2000)

процесса десорбции [9, 11]. С этой целью применяют специальные технологии, включающие гидроразрыв угольного пласта и откачку пластовых вод. С момента начала откачки дебит скважины начинает постепенно расти по мере увеличения депрессии и через несколько месяцев достигает своего максимального значения, а затем плавно снижается в течение нескольких лет.

Для определения характеристик коллекторов метана угольных пластов используют кернаый материал угля и петрофизические исследования (табл. 2). Скважинные геофизические исследования, которые широко и эффективно применяют для исследования коллекторов традиционных залежей газа и позволяют представить данные для определения их объема газа, к сожалению, не дают возможности решить такую задачу. Исследования угольных месторождений в большей мере ориентированы на петрофизические исследования (табл. 1 и 2). Важное место в изучении характеристик коллекторов метана угольных пластов занимают скважинные испытания, разные методы моделирования, а также геологические изучения.

Использование метана угольных пластов

Метан угольных пластов является энергетическим носителем с хорошей энергетической способностью. Основное его применение – это получение тепла и электрической энергии в когенерационных установках, а также в качестве топлива для автомобилей. Исследователями установлено, что метановый газ угольных пластов имеет значительно лучшие экологические показатели, чем при использовании бензина на автотранспорте.

В последнее время в ряде стран заинтересовались применением метана угольных пластов в двигателях Стирлинга, особенно в районах отсутствия традиционных источников энергии. Так компанией “Газпром промгаз” (РФ) [6] проводятся работы по осуществлению утилизации метана с помощью различных устройств, в частности с помощью двигателя Стирлинга получают тепло и электроэнергию. Двигатель Стирлинга – поршневой двигатель с внешним подводом теплоты от любого источника, в котором рабочее тело находится в закрытом контуре, и его химический состав и время работы

Таблица 2. Необходимые данные и их источники для анализа коллекторов метана угольных пластов (Aminian K., 2004)

Свойство	Источник
Аккумулирующая емкость	Анализ кернового материала
Содержание газа	–”–
Коэффициент диффузии	–”–
Сжимаемость объема	–”–
Общая мощность пласта	Данные ГИС по скважине
Эффективная (продуктивная) мощность пласта	–”–
Давление	Испытания скважины
Абсолютная (эффективная) проницаемость	–”–
Относительная проницаемость	Моделирование
Пористость	–”–
Свойства флюида	Состав и корреляция
Состав газа	Добыча и десорбция газа
Дренируемый объем	Геологическое изучение

двигателя не меняются. Когенерационная установка с двигателем Стирлинга предназначена для выработки электрической и тепловой энергии. При этом двигатель Стирлинга комплектуют блоком подготовки и очистки газа, автоматическим регулятором давления и ресивером.

Также в работе [10] отмечается, что широкому применению угольного метана для выработки электроэнергии и тепла способствует появление на мировом рынке нового типа двигателей Стирлинга. Ранее угольный метан использовался в карбюраторных и дизельных двигателях внутреннего сгорания (ДВС). Однако в таких двигателях необходимы существенная очистка угольного метана, поддержание необходимого постоянного процентного соотношения компонентов газа, проведение регламентных работ и установка дополнительных фильтров. Тогда как двигатель Стирлинга относится к классу двигателей с внешним подводом тепла (ДВПТ). На основании этого двигатель Стирлинга идеально подходит для технологии использования угольного метана. Энергетические модули с двигателями

Стирлинга позволяют использовать напрямую как угольный метан из скважины, так и каптируемый шахтный газ. Широкое внедрение двигателей Стирлинга с использованием угольного метана также осуществляется сегодня в Китае.

Расчет геологических запасов метана выполняют согласно формуле

$$OGIP = A \cdot h \cdot \rho_b \cdot GCi + \frac{A \cdot h \cdot \phi_i (1 - S_{wi})}{Bgi}, \quad (1)$$

где $OGIP$ – начальные геологические запасы метана в коллекторе;

A – площадь дренирования;

h – эффективная толщина пласта;

ρ_b – объемная плотность;

GCi – начальное содержание метана;

ϕ_i – начальная пористость;

S_{wi} – начальный коэффициент водяного насыщения угольного пласта (100 % – при насыщении водой);

Bgi – начальный объемный коэффициент газа в пластовых условиях.

В формуле (1) первая составляющая отражает адсорбированный метан углём, а вторая составляющая представляет свободный метан в угольном пласте.

Извлечение газа зависит от коэффициента газоотдачи, согласно формуле

$$RF = \frac{GC_i - GC_a}{GC_i}, \quad (2)$$

где RF – коэффициент извлечения газа;

GC_a – оставленное содержание газа.

Тогда извлекаемые запасы метана можно представить формулой

$$RG = OGIP \cdot RF. \quad (3)$$

Для получения содержания метана в угольном пласте часто используют следующее выражение:

$$GC = \frac{V_{meas.} + V_{res.} + V_{lost}}{m_{coal}}, \quad (4)$$

где $V_{meas.}$ – измеренный объем метана в угольном пласте;

$V_{res.}$ – объем остаточного метана в угольном пласте;

V_{lost} – объем утерянного метана в угольном пласте;

m_{coal} – масса угля.

Использование метана из вентиляционных струй шахт

Важное значение имеет создание способов извлечения метана из вентиляционных струй шахт [8]. Сущность технологии состоит в извлечении метана из сжатой метановоздушной смеси вентиляционных струй путем низкотемпературной адсорбции с получением холода на основе кристаллизационных процессов.

Способ позволяет на основе комбинирования газогидратных и сорбционных энергозатратных процессов извлечь метан из вентиляционных струй шахты, одновременно с извлечением метана осуществляют и другие необходимые для шахты мероприятия, например, охлаждение шахтного воздуха и деминерализацию шахтной воды, компенсируя энергетические затраты одних процессов за счет избытка их в других. Концентрация метана на выходе установки составляет до 100 %. Обеспечивается получение низких температур – до минус 50 °С, а также осуществляется попутное получение пресной воды.

Заключение

В настоящее время в Украине сделаны только первые шаги в освоении метана угольных пластов. В перспективе наличие значительного объема метана угольных пластов при использовании новейших технологий разведки и разработки метана угольных пластов открывает большие возможности в сокращении использования традиционных газовых ресурсов и их замены метаном угольных пластов.

Сегодня необходимо рассматривать как первоочередную задачу в освоении гидравлического разрыва угольных пластов с использованием горизонтального бурения большой протяженности. При этом наземное (поверхностное) бурение также должно заканчиваться горизонтальным бурением в угольных пластах, а для этого необходимо создание высокоточных систем навигации скважин в тонкослоистых угольных пластах.

Не менее важной задачей является повышение уровня извлечения метана из угольных пластов с использованием новых технологий десорбции с использованием газов двуокиси углерода и азота, а также научиться оценивать и контролировать потоки метана как в угольных пластах, так и в вентиляционных струях шахт. Кроме того, необходимо повышать уровень безопасного труда шахтеров, благодаря недопущению выбросов угля и газа при выемке угля в шахтах.

Наземная (поверхностная) дегазация метана имеет преимущества при неглубоком залегании угольных пластов, однако, учитывая упрощение в межскважинном варианте реализации десорбции метана угольных пластов, она будет востребована в значительных объемах в будущем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Булат А. Пути развития метановой отрасли на Украине (концепция решения энергетических проблем Украины при использовании метана угольных пластов Донецкого и Львовско-Волинского бассейнов с улучшением качества окружающей среды в угледобывающих регионах). <http://www.masters.donntu.edu.ua/2006/kita/anistratenko/library/puti.htm>

2. *Быкова Валентина*. Добыча метана: инновации донецких геологов. <http://investukr.com.ua/get-news/411/>

3. *Гошовский С. В., Сиротенко П. Т.* Развитие новых геофизических технологий для разведки и разработки сланцевого газа // *Збірник наукових праць УкрДГРІ*. 2012, № 1. С. 9–32.

4. Лекции аэрологии // *Аэрология, Часть 1*. <http://www.studfiles.ru/dir/cat17/subj306/file1510/view153315/page2.html>

5. Оновлення Енергетичної стратегії України на період до 2030 р., 7 червня 2012 р., м. Київ (Проект документа для громадських обговорень). 156 с.

6. *Пацков Е. А.* Эксперт из “Газпром промгаз”: о шахтном метане. <http://proisk.livejournal.com/579256.html>

7. *Резник Галина*. Украинские особенности добычи и утилизации метана угольных пластов. Источник: *UA Energy*, 2009. <http://www.uaenergy.com.ua/c225758200614cc9/0/78d64ce57738da25c2257583004bf7d6>

8. Способ извлечения метана из вентиляционных струй шахт. http://esco-ecosys.narod.ru>2006_1/art36.htm

9. Угольные бассейны как источник метана, 2010. <http://www.energyland.info/news-print-40583>

10. Угольный метан, перспективы добычи и использования. <http://www.ecotok.ru/traditionale/ugol/d732>

11. *Morad K.* Coalbed Methane-Part1: Reservoir Engineering Fundamentals, 2007. <http://www.fekete.com/SAN/Videos/Technical Videos/Video11/index.htm>

12. *Morad K.* Coalbed Methane-Part2: Reservoir Engineering Applications, 2007. <http://www.fekete.com/SAN/Videos/Technical Videos/Video12/index.htm>

Рукопис отримано 14.11.2013.

С. В. Гошовський, П. Т. Сиротенко

ЕНЕРГЕТИЧНИЙ ПОТЕНЦІАЛ МЕТАНУ ВУГІЛЬНИХ ШАХТ УКРАЇНИ ТА МОЖЛИВОСТІ ЙОГО ОСВОЄННЯ

Розглянуто аспекти природи створення й збереження метану у вугільних пластах, показано, що основні запаси газу розміщені не в поровому просторі, а переважно адсорбовані на поверхні вугілля. Наведено принципи виділення метану з шахтної метаноповітряної суміші та оцінено варіанти технологій видобування й використання метану в народному господарстві й запропоновано шляхи розвитку метанової галузі в Україні.

Ключові слова: метан, вугілля, вугільний пласт, запаси, поровий простір, адсорбція, дифузія, сорбція, десорбція, виділення, збереження, колектор, метаноповітряна суміш.

S. V. Goshovskyi, P. T. Syrotenko

COAL BED METHANE ENERGY POTENTIAL OF UKRAINIAN COIL MINES AND ITS DEVELOPMENT OPPORTUNITIES

Considered the aspects of nature of creation and preservation of methane in coal seams. It is shown that the major gas reserves are located not in the pore space, rather adsorbed on the surface of coal. Provided the principles of methane extraction from the mine methane-air mixture and evaluated technology options of methane recovery and usage of methane in the national economy and further ways of methane industry development in Ukraine.

Keywords: methane, coal, coal bed, pore space, adsorption, diffusion, sorption, desorption, storage, reservoir, methane-air mixture.