

УДК 622.817.4

**В.Н. Фрянов, В.Г. Криволапов, О.В. Фрянова,
О.А. Петрова**

**ДЕГАЗАЦИЯ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ НА ШАХТАХ
ПОСРЕДСТВОМ ФОРМИРОВАНИЯ ГАЗОГИДРАТОВ
МЕТАНА И УПРАВЛЯЕМОГО ПЕРЕХОДА
ЕГО В ГАЗООБРАЗНОЕ СОСТОЯНИЕ ***

Предложена научная идея формирования и консервации в угольном пласте газогидратов, разложения соединений метана и воды в безопасных участках шахтного поля или на земной поверхности с замещением метана углекислым газом и последующим использованием метана в качестве энергоносителя.

Ключевые слова: угольный пласт, метан, газогидраты, метаноносность, горное давление, горная выработка, температура, математическая модель, компьютерная программа.

Производственный опыт подземной разработки высокогазоносных угольных пластов на шахтах России подтверждает, что пока нет научно обоснованных методов и средств управления вентиляцией горных выработок и метановоздушными потоками, обеспечивающими безопасные санитарно-гигиенические условия труда подземного персонала. Низкая эффективность применения на угольных шахтах государственных норм технологического проектирования, правил, стандартов, действующих правил безопасности и нормативно-правовых документов РФ подтверждается, несмотря на внедрение современных, в том числе импортных, технологий и технических устройств, неснижаемым уровнем травматизма. В период 2005-2009 гг. уровень смертельного травматизма на шахтах России составил $0,54 \pm 0,12$ на 1 млн т добычи, для сравнения в период 1985-

1991 гг. в РСФСР этот показатель изменялся в пределах 0,52-0,58 [1].

Применяемые в настоящее время способы и средства дегазации углепородного массива и управления процессами миграции метана в угольном пласте при его отработке не обеспечивают проектные показатели дегазации. Например, согласно «Методическим рекомендациям о порядке дегазации угольных шахт» [2] для условий пласта 16 Байдаевского угольного месторождения Кузбасса филиала «Шахта Абашевская» ОАО ОУК «Южкузбассуголь» (длина выемочного столба 16-17 – 1450 м; длина очистного забоя – 267 м; глубина участка от поверхности –430–660 м; общая мощность пласта 1,36-1,73 м; вынимаемая мощность пласта 1,77 м; природная газоносность пласта 20,6 – 30,0 м³/т) был проведен расчет параметров дегазации для одной скважины длиной 252 м: дебит

*Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации по гранту №1.5.07.

смеси $0,19 \text{ м}^3/\text{мин}$; концентрация метана $74,70 \%$; выход метана $0,14 \text{ м}^3/\text{мин}$ [3].

Дегазация разрабатываемого пласта осуществлялась одиночными скважинами параллельными очистному забою, пробуренными из ниш конвейерного штрека. Расстояние между скважинами 10 м . Бурение дегазационных скважин производилось станками СБГ-1М. Диаметр скважин – 100 мм .

Фактические данные по всем скважинам оказались значительно ниже расчетных: дебит метановоздушной смеси $0,42\text{-}0,02 \text{ м}^3/\text{мин}$; концентрация метана $63\text{-}4 \%$; выход метана $0,26\text{-}0,001 \text{ м}^3/\text{мин}$.

Одной из причин отклонения фактических параметров дегазации расчетным является несоответствие включенных в действующие нормативные документы и методики алгоритмов и моделей фактического состояния метана и его миграции в угольном пласте.

Для решения научной проблемы выявления и использования на практике закономерностей миграции метана в угольном пласте предлагается развить теоретические основы формирования и динамики блочной иерархической структуры геосреды, включающей супрамолекулярные соединения метана с водой (газовый гидрат) с последующим разложением в определенных термодинамических условиях газогидратов.

Для выявления в углепородном массиве участков с термодинамическими параметрами, соответствующими условиям образования и разложения соединений газогидратов, проведено математическое моделирование геомеханических процессов в углепородном массиве с оценкой адекватности расчетных параметров моделирования по результатам шахтных исследований в действующем выемочном участке.

Предлагаемая научная идея рационального использования метана уголь-

ных пластов с целью обеспечения безопасных и комфортных условий труда на шахтах состоит в обосновании новых методических и практических подходов, обеспечивающие управляемое воздействие на угольный пласт, в том числе посредством формирования и консервации в угольном пласте газогидратов, разложения соединений метана и воды в безопасных участках шахтного поля или на земной поверхности с замещением метана углекислым газом и последующим использованием метана в качестве энергоносителя.

Разработанные к настоящему времени теоретические положения о клатратных соединениях, включающие гипотезы и обобщения результатов лабораторных и натурных исследований процессов клатратообразования, аккумуляции клатратов в природе и искусственных сооружениях, перехода клатратов из кристаллического состояния (гидратного) в растворы и газообразное состояние, интенсивно развиваются, что подтверждается большим количеством публикаций в монографиях, технических журналах и диссертационных работах [4-8 и др.].

Клатраты подразделяют на два больших класса в зависимости от свойств соединения-хозяина: молекулярные клатраты и клатраты углеводородных газов.

Молекулярные клатраты образуются «хозяевами», имеющими внутримолекулярные полости; такие клатраты могут существовать как в растворе, так и в кристаллическом состоянии (гидраты). Характерным примером решетчатого клатрата является гидрат метана, в котором молекулы метана заключены в пустоты кристаллической решетки льда. Это соединение широко распространено в природе.

Клатраты углеводородных газов, согласно [7], представляют собой соединения, в которых молекулы легколету-

чих газов или жидкостей заполняют структурные пустоты кристаллической решетки, образованной молекулами воды. Условия образования и существования гидратов: давление 2 Па-1,7 ГПа, температура 50-350 К. Один объем воды в гидратном состоянии связывает от 70 до 350 объемов газа. Внешне гидраты похожи на спрессованный снег или молодой лед. Плотность гидратов 900-1100 кг/м³, теплота образования около 420 кДж/кг, теплоемкость (50-60)*10³ Дж/моль-град. Проницаемость воды через гидраты (1-500)*10⁻²⁰ м².

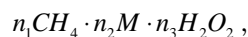
При создании в угольных пластах условий, благоприятных для формирования газогидратов, возможно связывание метана и СО₂ в клатраты, то есть вместо дегазации угольных пластов предлагается консервация метана в клатратных соединениях.

Сущность метода искусственного создания газового гидрата в угольном пласте с целью упаковки молекул метана в газогидрат, заполнения и упрочнения линеаментов в угольном пласте твердыми кристаллогидратами состоит в использовании скорости формирования и разложения кристаллогидратов.

Скорость разложения кристаллогидратов изучалась при образовании и ликвидации гидратных пробок в магистральных газопроводах при транспортировке в них природного газа. Ликвидация этих пробок возможна разными способами, например, посредством снижения давления в трубопроводе. При этом время, необходимое для ликвидации пробки, достигает нескольких часов [9]. В соответствии с приведенными результатами натурных исследований можно утверждать, что в угольном пласте скорость разложения кристаллогидрата не может быть высокой, так как при разложении кристаллогидрата на метан и воду необходима интенсивная фильтрация компонентов.

Так как скорость фильтрации воды, особенно в зоне повышенного горного давления, где снижается проницаемость угольного массива, не высокая, и процесс фильтрации медленный.

Идея искусственного создания кристаллогидратов в угольном пласте, содержащем метан, состоит в том, что для образования кристаллогидрата необходимо в угольный пласт подать воду и некоторое количество другого газа (не метана), способного снизить давление гидратообразования и создать сложное гидратное соединение вида



где M – молекула газа (не метана), способного образовывать с водой кристаллогидрат при природных или техногенных значениях температуры и давления газа; n_1, n_2, n_3 – количество молекул соответственно метана, газа (не метана) и воды в сложном гидрате.

В качестве газа (не метана) можно подавать сероводород, углекислый газ и другие газы, способные образовывать кристаллогидраты при природных термодинамических или техногенных условиях. Например, сероводород способен с водой и метаном образовывать кристаллогидрат при следующих значениях соответствующих температурах t и давлении p : $t = 5, 10, 15, 20, 25, 27$ °С и $p = 0,15; 0,3; 0,5; 0,75; 1,2; 1,5$ МПа. Как следует из приведенных диапазонов температуры и давления условия возникновения сложного соединения соответствуют шахтным.

Так как сероводород является опасным газом в условиях ограниченного подземного пространства, то возникает актуальная научная задача поиска газообразного вещества, обеспечивающего образования сложного соединения при термодинамических условиях шахты, а также обоснование оптимальных соотношений между этим веществом и ме-

таном, при которых в водной среде образуется газовый клатрат.

Таким образом, теоретически доказано, что в условиях угольных шахт, обрабатывающих метаноносные угольные пласты, вероятно образование, существование и разложение газовых гидратов. Возможны два пути управления метановыделением: дегазация угольных пластов, эффективность которой обычными способами не превышает 20 %, или нейтрализация метана посредством искусственного создания газовых клатратов, заполнения последними линеаментов, изменения плотно-

сти угля и структуры иерархических блоков в пласте.

По результатам математического моделирования численным методом конечных элементов геомеханических процессов вне и в зоне влияния очистного забоя выявлены следующие потенциальные зоны формирования газогидратов: в краевой части угольного пласта, в подрабатываемых или надрабатываемых угольных пластах-спутниках, зонах геологических нарушений разрывного типа, в замках синклинальных и антиклинальных складок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Гражданкин А.И.* Промышленная безопасность отечественной и мировой уголедобычи // А.И. Гражданкин, А.С. Печеркин, М.А. Иосиф // Информационно-аналитический центр «Экспертиза промышленной безопасности» [Электронный ресурс]. – Режим доступа <http://www.safeprom.ru/articles/detail.php?ID=13565>
2. *Методические рекомендации* о порядке дегазации угольных шахт, РД-15-09-2006 [Текст]. – М.: ГУП «НТЦ «Промышленная безопасность», 2007. – 64 с.
3. *Палеев Д.Ю.* Проектная и фактическая эффективность дегазации на высокогазоносных шахтах [Текст] / Д.Ю. Палеев, В.Г. Криволапов, Ю.М. Говорухин // Вестник Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. Научно-технический журнал. - 2009. - №1. – С. 48-53.
4. *Эттингер И.Л.* Растворы метана в угольных пластах [Текст] / И.Л. Эттингер // Химия твердого тела. – 1984. - №4. – С. 28-35.
5. *Стид Дж.В.* Супрамолекулярная химия. Т. 1. в 2-х томах [Текст] / Дж.В. Стид, Дж.Л. Этвуд. – М.: Академкнига, 2007. - 479 с.
6. *Якушев В.С.* Формирование скопленных природного газа и газовых гидратов в криолитозоне [Текст]: автореф. дис. на соиск. учен. степ. докт. геол.-мин. наук / В.С. Якушев. – М.: ООО «ВНИИГАЗ», 2009. – 47 с.
7. *Манаков А.Ю.* Использование клатратных соединений для хранения водорода [Текст] / А.Ю. Манаков, С.С. Скиба // Российский химический журнал. - 2006. - Т. 50. - №6. - С 73-82.
8. *Shuqiang G.* Investigation of Interactions between Gas Hydrates and Several Flow Assurance Elements / G. Shuqiang // Energy and Fuels, 22 (5), 3150–3153, 2008.
9. *Макогон Ю.Ф.* Предупреждение образования гидратов при добыче и транспортировке газов [Текст] / Ю.Ф. Макогон, Г.А. Саркисянц. – М.: Недра, 1966. – 186 с. **ИЛД**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Фрянов Виктор Николаевич – профессор, доктор технических наук, зав. кафедрой,
Криволапов Виктор Григорьевич – кандидат технических наук, доцент,
Фрянова Ольга Викторовна – аспирант,
Петрова Ольга Александровна – аспирант,
Сибирский государственный индустриальный университет, rector@sibsiu.ru