

откосов гидроотвалов при их эксплуатации является нарушение процессов фильтрационной разгрузки и консолидации намывного массива, приводящее к формированию ослабленных зон, сложенных слабо уплотненными суглинками и глинами текуче- и мягкопластичной консистенции с остаточной влажностью 31–40 %, сцеплением 20–30 кПа, в которых поровое давление P стабилизируется или повышается на 40–50 кПа/мес. Указанные зоны диагностируются по отрицательным аномалиям удельного электросопротивления в диапазоне $\rho = 10\text{--}30$ Ом·м методами электромагнитного сканирования или электрического зондирования, а оперативный мониторинг обеспечивается измерением порового давления в пределах этих зон и расчетом критических уровней в диапазоне $P_{кр} = 100\text{--}1000$ кПа.

Основной причиной снижения устойчивости техногенного массива при отсыпке вскрышных пород на намывное основание является формирование под отвальным блоком на глубине 12–15 м напряженной зоны с поровым давлением, достигающим $P_{max} = 4,49$ МПа при отсыпке блока на полную высоту до 20 м и $P_{max} = 2,57$ МПа при отсыпке слоями мощностью до 5 м, что снижает коэффициент запаса устойчивости соответственно на 10–24 % и не более, чем на 8 %. При отвалообразовании встречными заходками внешняя грани-

ца напряженной зоны выходит за контуры блока на расстояние до 20 м, что приводит к необходимости вести мониторинг в режиме управляемых деформаций (рис. 6).

При оползневых деформациях в процессе эксплуатации комбинированного отвала в приоткосной зоне техногенного массива формируются аномальные ослабленные зоны, требующие проведения дополнительного геофизического и гидрогеологического мониторинга и снижающие устойчивость системы «отвальный блок – ограждающая дамба – борт карьера».

Разработанные система многоуровневого мониторинга, методики инструментальных наблюдений внедрены и проходят опытно-промышленную проверку на угольных разрезах ОАО «УК «Кузбассразрезуголь».

В частности, ведется непрерывный мониторинг на гидроотвалах угольных разрезов «Кедровский», «Бачатский», «Краснобродский», «Сартакинский». Использование разработок позволяет увеличить базу мониторинга до 2000 м и одновременно повысить его точность для объектов большой площади (отвалов, шламохранилищ, насыпей), снизить риск техногенных аварий и затраты на безопасную эксплуатацию горнотехнических сооружений.

□ Автор статьи:

Простов
Сергей Михайлович?
докт. техн. наук, профессор каф.
теоретической и геотехнической
механики КузГТУ,
E-mail psm.kem@mail.ru

УДК 622.279.72:622.831.322

Т.Л.Ким

ОБРАЗОВАНИЕ ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ ПРИРОДНОГО ГАЗА В УГОЛЬНОЙ МАТРИЦЕ

Проблема борьбы с внезапными выбросами угля и газа при подземной разработке угольных месторождений остается актуальной на сегодняшний день, но неоднозначность интерпретаций результатов текущего прогноза не позволяет однозначно судить о возможности проявлений газодинамических явлений¹. На сегодняшний день на шахтах России произошло 910 внезапных выбросов угля и газа [1].

Условия возникновения и формы проявления газодинамической активности угольных пластов разнообразны. Чаще всего процессы, приводящие

к внезапным выбросам угля и газа, развиваются в диаметрально противоположных направлениях. В настоящее время до конца не решены вопросы, связанные с формами связи метана с угольной матрицей, а так же неясно, откуда берутся большие объемы газа при внезапных выбросах, превышающих объемы, обусловленные природной газоносностью угольных пластов.

Было показано[2], что в «свободном» состоянии газа в поровом пространстве пласта находится значительно меньше, чем фиксируется при внезапных выбросах. Возникает вопрос о возможности существования иной формы связи молекул газа с угольной матрицей, кроме адсорбционной. Первым этапом нашего исследования стало изучение термодинамических условий, т.е. парамет-

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке Фонда Михаила Прохорова, № договора 145/12

ров давления и температуры, в разрабатываемых угольных пластах и установление возможности образования в них твердых растворов природного газа по типу газовых гидратов.

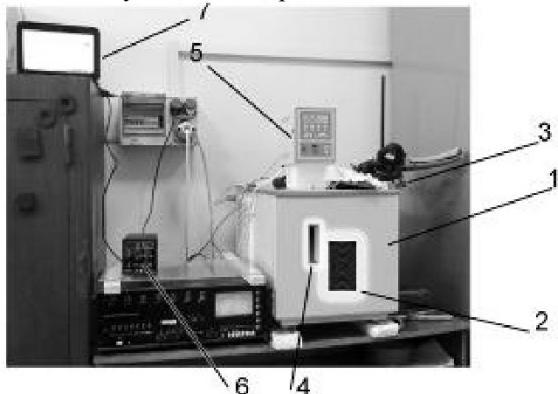


Рис 1. Схема экспериментальной установки: 1 - программируемый термостат; 2 - автоклав с углем и метаном; 3 - газовый кран; 4 и 5 - датчики температуры и давления; 6 - измерительное устройство (типа mit8); 7 - самописец (ПК)

Газовые гидраты – соединения включения, в которых молекулы метана встраиваются в каркас, построенный из молекул воды. В этом состоянии метан занимает намного меньший объем, чем при нормальных условиях. Для их образования доста-

ния в виде газогидратов и ТУГРов (твердого углегазового раствора) при определенных термодинамических условиях.

Для изучения условий образования и диссоциации гидратов природного газа в порах угольной матрицы при повышении и понижении температуры были проведены экспериментальные исследования в Институте неорганической химии им. Николаева СО АН РОВ в лаборатории клатратных соединений под руководством зав. лаб., д.х.н. Манакова А.Ю. и профессора, д. т. н., зав. кафедрой физики КузГТУ Дырдина В. В. на установке по изучению газогидратов.²

Установка предназначена для изучения газовых гидратов в трехфазной смеси: уголь – газ – вода. Она дает возможность осуществлять автоматический сбор данных измеряемых параметров: давление, температура. В состав установки входит пакет программного обеспечения (Mit8.0) и ноутбук, схема установки приведена на рис.1.

На данной установке моделируются термодинамические условия, близкие к природным условиям залегания угольного пласта.

В ходе эксперимента использовали уголь марки «К», отобранный на ш. «Березовская» из выбросоопасной пачки пласта XXVI, глубина залегания около 400м. Отобрана фракция 1÷2мм, которая хранилась в инертном газе. Зольность угля составляла около 20%.

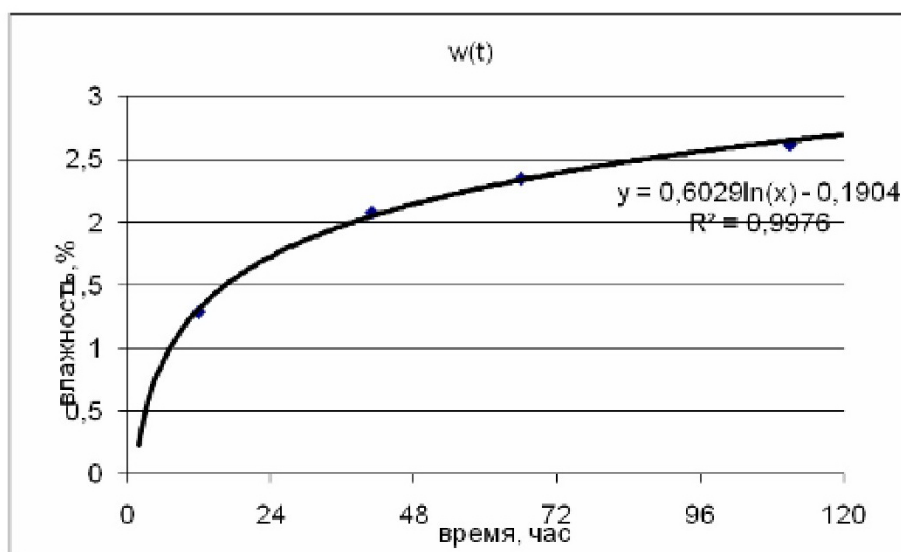


Рис. 2. График насыщения угля парами воды с течением времени

точно материнской влаги, содержащейся в угольных пластах. Кроме того, твёрдые растворы природного газа могли образовываться и в различные исторические периоды и образовывать, так называемые, реликтовые месторождения.

Кинетика образования и разложения твердых растворов природного газа по типу газогидратов в угольных пластах до сих пор остается плохо изученной, таким образом основной целью нашего исследования было выявление форм связи молекул метана в угольной матрице и его распределе-

Перед началом эксперимента в течение 5 дней уголь массой 53,21г., предварительно высушенный в вакуумной печи при температуре 105С, выдерживали в эксикаторе над дистиллированной водой для достижения равномерного распределения необходимой влажности угля. Влажность ис-

² В экспериментальных исследованиях принимал участие ст.преп. каф. физики КузГТУ В.Г. Смирнов

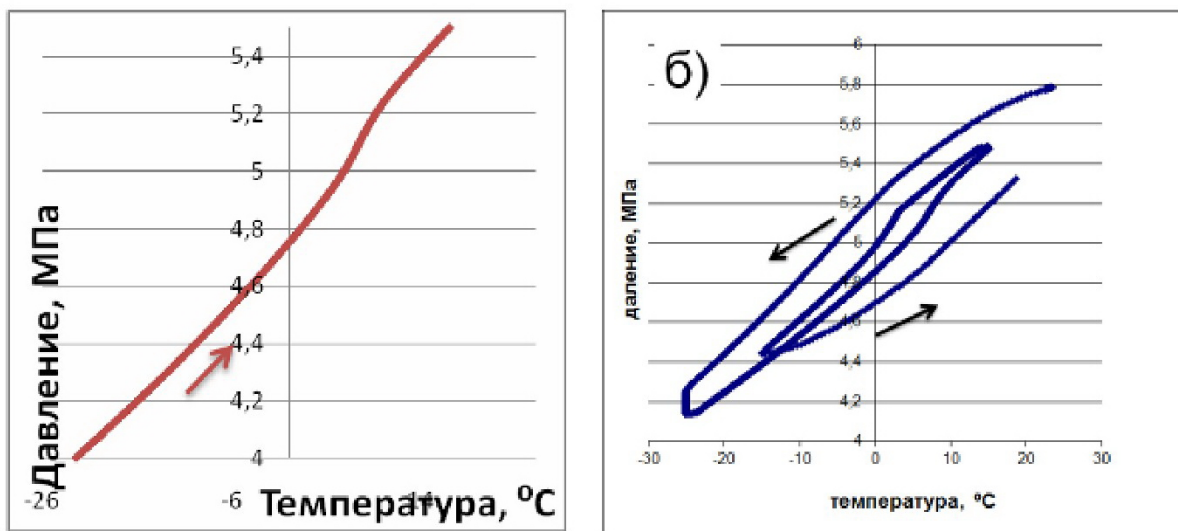


Рис.3. Зависимости давления газа в автоклаве с угольным образцом, с течением времени при равномерном повышении температуры а) и при ее циклическом изменении б)

следующей пробы составила 2,53%, что соответствует природной влажности угольных пластов, опасных и угрожаемых по внезапным выбросам угля и газа рис.2.

Затем уголь помещали в автоклав и закачивали в него метан под давлением 10 МПа и охлаждали в течение двух суток до температуры -25°C . После чего автоклав с углем помещали в программируемый термостат, в котором температура изменялась в диапазоне -25°C до $+25^{\circ}\text{C}$. С помощью специальных датчиков регистрировали температуру и газовое давление, которые изменялись с постоянной скоростью, а также записывались автоматически в течение 8 часов.

После обработки экспериментальных данных, была получена зависимость давления от температуры угольного образца, представленная на рис.3.а). Ступенька на Р-Т диаграмме обусловлена появлением дополнительного объема метана, перешедшего из твердой фазы в газовую.

Вблизи точки 7°C и $5,0$ МПа виден скачок давления, связанный с разложением газогидратов метана в угольных порах, который соответствует точке фазового перехода. Эксперимент проводил-

ся при температуре от -25°C до $+25^{\circ}\text{C}$ в прямом и обратном направлении рис.3.2.б). В общем случае наблюдается возрастание и падение давления около точки фазового перехода.

Было установлено, что свободный объем автоклава равен $55,13 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$, объем занимаемый угольным веществом внутри автоклава был порядка $40 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$. Так как в природных условиях пористость выбросоопасных углей составляет не более 5%, то есть объем газовой фазы примерно в 20 раз меньше объема угля, соответственно влияние диссоциации газогидратов на давление в угольных порах может быть значительным.

Можно сделать вывод, что образование твердых растворов природного газа в угольных порах может происходить при определенных термодинамических параметрах Р и Т и природной влажности, характерной угольным пластам, опасным по внезапным выбросам угля и газа. Диссоциация газовых гидратов может влиять на газодинамическую активность угольного пласта и формирование выбросоопасной ситуации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зыков В. С. Внезапные выбросы угля и газа и другие газодинамические явления в шахтах. – Кемерово: Институт угля и углехимии СО РАН, 2010. – 333 с.
2. Ким Т.Л. Влияние твердых растворов природного газа на газодинамические процессы впереди забоя подготовительной выработки/ Т.Л.Ким, В.В.Дырдин, А.А. Мальшин, С.А. Шепелева //Вестник КузГТУ.- 2012. №3.- С. 12-15.

□Автор статьи:

Ким
Татьяна Леонидовна,
ассистент каф. физики
КузГТУ,
email:tanyakim@list.ru