

НОВЫЕ МЕТОДЫ И ПРИБОРЫ В ГОРНОМ ДЕЛЕ

УДК 622.235

РАЗРАБОТКА СТЕНДА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ФИЛЬТРАЦИИ МЕТАНА В УГОЛЬНЫХ ОБРАЗЦАХ

М. В. Курленя, М. Н. Цупов, А. В. Савченко

*Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН,
E-mail: sav@eml.ru, Красный проспект, 54, 630091, г. Новосибирск, Россия*

Предложена лабораторная установка и методика для исследования интенсификации выделения метана из угольных образцов при воздействии волновыми полями, что способствует увеличению скорости дегазации. Создано вспомогательное оборудование, позволяющее доставлять керны угля из шахт и учитывать объем свободно выделившегося из них метана.

Стенд, вибровоздействие, уголь, углеметан, дегазация

DOI: 10.15372/FTPRPI20180518

Технологии интенсификации извлечения метана из угольных пластов активно разрабатываются отечественными и зарубежными специалистами. Для этих целей используются гидро-разрыв пласта и разгрузка призабойной зоны, режим кавитации, импульсные знакопеременные пневмогидровоздействия, закачка углекислого газа, азота и различных гелей [1–6]. Количество сорбированного углем газа, давление, проницаемость, температура, показатели сорбции и ее кинетики, вязкость, плотность, пористость являются определяющими факторами при добыче метана [6–12]. В связи с этим возникает необходимость исследований угольного вещества для получения информации об особенностях его строения и параметрах, установлении физических зависимостей, связывающих их между собой. Таким образом, одна из актуальных задач — разработка специальных стендов.

В мировой практике проведен большой объем экспериментальных работ по оценке влияния магнитного, сейсмоакустического и теплового полей на физические свойства проницаемости пористых горных пород, процессы вытеснения из них одного флюида другим, что позволяет создавать методы воздействия на призабойную зону эксплуатационных скважин нефтяных и газовых месторождений [13, 14]. В настоящее время существует различное оборудование, на котором изучаются физико-механические свойства угольного керна [15–16], однако не затрагиваются вопросы интенсификации углеметана.

Работа выполнена в рамках бюджетного проекта IX.132.4.3. “Разработка физико-химических основ технологий комплексной переработки нетрадиционного минерального сырья и техногенных отходов с получением новых материалов и товарных продуктов”. Отдельные этапы работы проведены при финансовой поддержке программы “Умник” Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере (проект № 10227ГУ/2015).

В данной статье рассматривается стенд, разработанный для получения универсальных зависимостей физических параметров угольного вещества. Его особенность состоит в том, что экспериментальные результаты служат основой для построения модели, описывающей состояние и поведение угольного пласта, содержащего сорбированный газ.

КОНСТРУКЦИЯ СТЕНДА

Лабораторная установка состоит из камеры высокого давления, гидравлической системы нагружения образца, автоматического комплекса регулирования и измерений фильтрации газа (рис. 1).

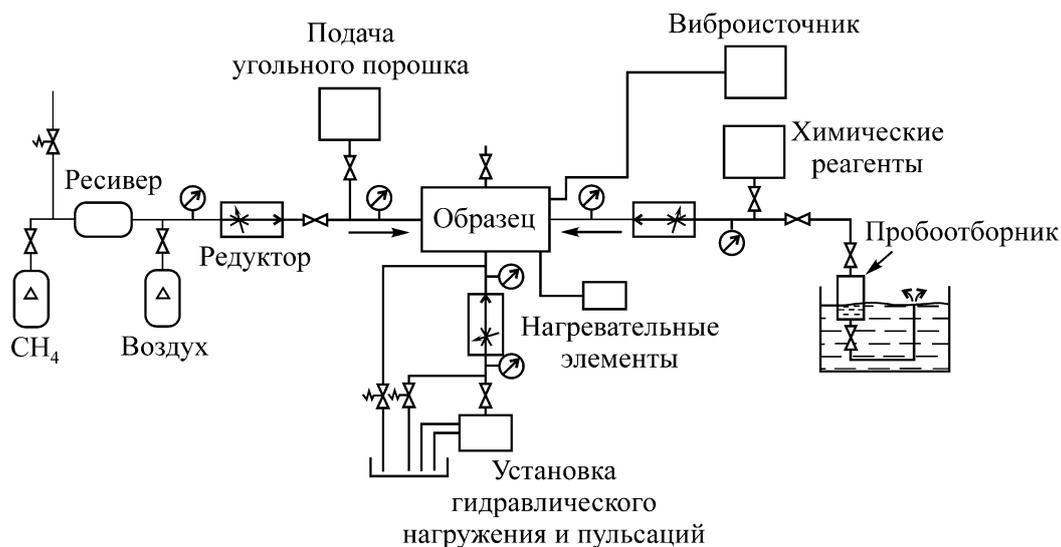


Рис. 1. Принципиальная схема стенда

Угольный образец цилиндрической формы диаметром 30–60 мм и длиной 60–120 мм размещают в камере высокого давления (рис. 2), где с использованием гидравлической системы его подвергают трехосному нагружению, моделируя напряженно-деформированное состояние залегания угольного пласта до глубины 900 м. Масло подается насосом через электрические клапаны в полость между стенкой камеры и оболочкой, в которой находится керн. Оболочка обеспечивает равномерное нагружение и герметичность полости проникновения масла к исследуемому образцу. Давление задается пресс-расходомером и поддерживается электронными редукторами. Изменения силы воздействия на торцы происходят механически, независимо друг от друга. Это позволяет имитировать условия как в равнонагруженном массиве, так и в забойной части выработок и скважин. Контроль нагружения керна осуществляется электронными датчиками давления с выводом для записи на компьютер (ПК) через аналого-цифровой преобразователь (АЦП).

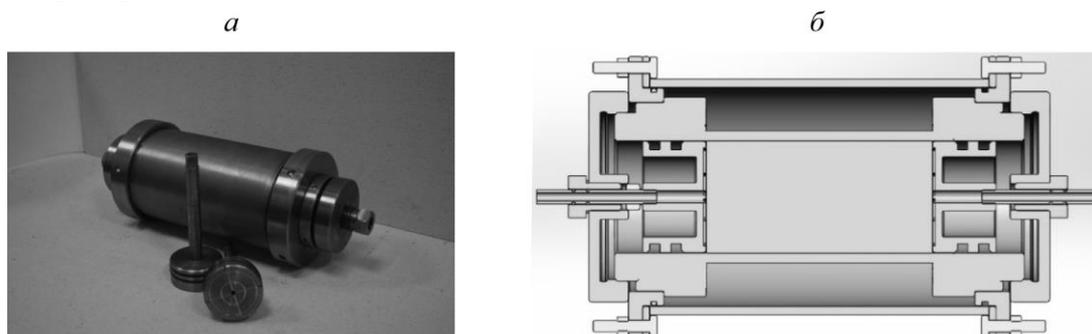


Рис. 2. Камера высокого давления: а — внешний вид; б — внутренний вид

Способы моделирования натуральных условий напряженно-деформированного состояния образца приведены на рис. 3.

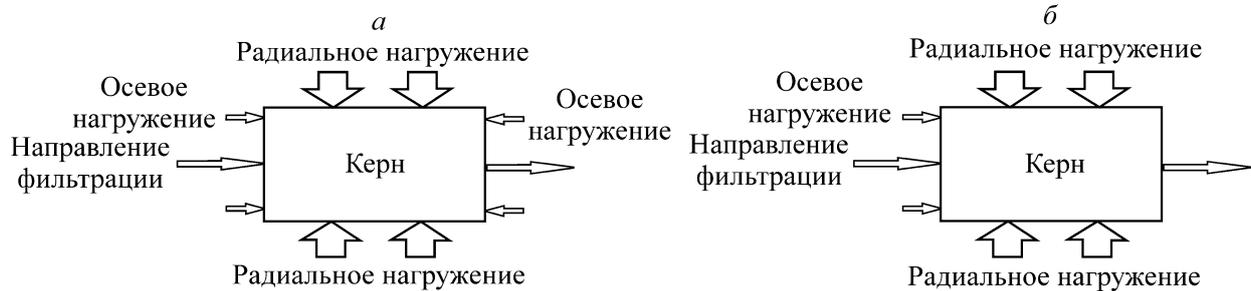


Рис. 3. Моделирование физического состояния образца угля в нетронутом массиве (а) и частично разгруженном массиве (б)

Одним из достоинств лабораторной установки является автоматизированная система контроля состояния образца в условиях, близких к натурным, включая заданную температуру, напряжения, деформации и давление газа в порах (рис. 4).

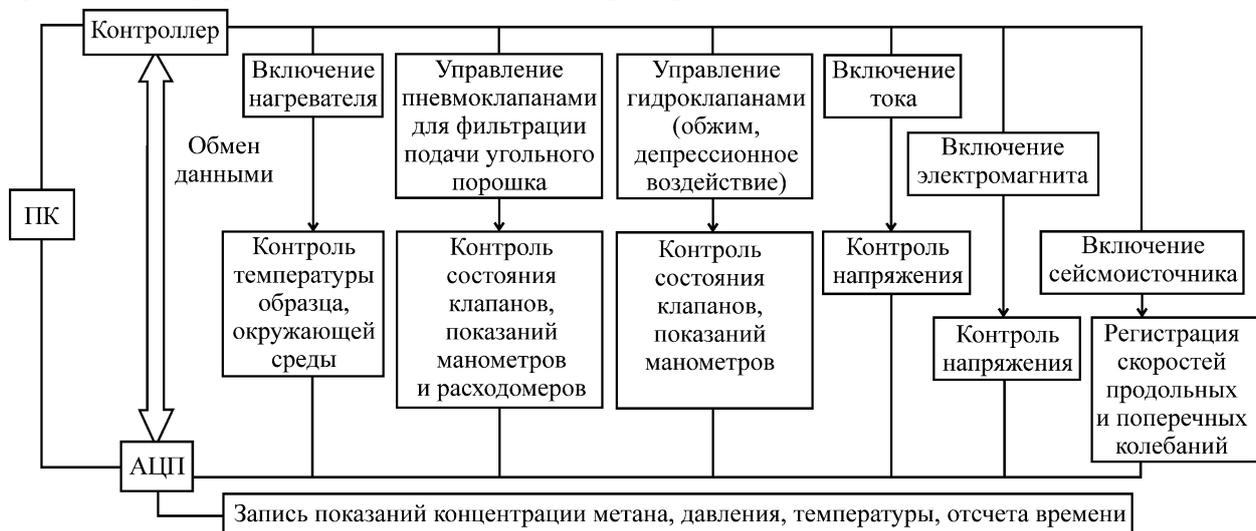


Рис. 4. Схема автоматизированной системы контроля физического состояния образца

Температура поддерживается на заданном уровне элементами Пельтье, расположенными на внешних стенках камеры и подводных каналов. Контроль температуры осуществляется датчиками. Регулирование температуры выполняется с учетом показания всех датчиков и управления нагревательными элементами.

Генератор колебаний, используемый в стенде, создает волновое воздействие интенсивностью от 1 до 150 Гц и амплитудой от 0.1 до 10 мм, передаваемое через поршень на образец, размещенный в камере. Изменение режимов работы генератора достигается при помощи высокочастотного генератора.

В экспериментах, предусматривающих изменение напряженного состояния образца, стенд оборудован игольчатым электроклапаном и электроредуктором. При кратковременном частичном сбросе давления между стенкой камеры и податливой оболочкой, обжимающей керн, незамедлительно открывается электроредуктор, восстанавливающий нагружение образца. Частота и продолжительность открытия игольчатого клапана, а также время, через которое включается электроредуктор, задается на ПК. Это позволяет моделировать напряженное состояние скелета образца угля.

Для моделирования кольматации призабойной зоны скважины в стенде предусмотрена подача из резервуара угольного порошка в подводящий канал, которая закупоривает поры керна угля, ухудшая скорость фильтрации. Для изучения влияния магнитного поля на состояние образца установлены электромагнит, включаемый ПК через реле, и два постоянных магнита, сила воздействия которых регулируется изменением расстояния от испытательной камеры. При измерении индукции магнитного поля используется магнитометр.

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА

Стенд позволяет выполнять стандартные исследования скорости фильтрации различных газов в угольном образце в зависимости от напряженного состояния горных пород по утвержденным ГОСТами методикам. Его преимуществом и отличительной особенностью является установка керна в резиновой оболочке без полного сброса рабочей жидкости, что существенно удешевляет и ускоряет проведение эксперимента.

После размещения образца в камере монтируются торцевые крышки с поршневыми зажимами и посредством трехосного механического нагружения моделируются условия напряженно-деформированного состояния. В полость между обжимной резиновой оболочкой и стенкой камеры подается рабочая жидкость для радиального нагружения керна. Одновременно пропорционально давлению при помощи торцевых поршней создается осевое сжатие, позволяющее избежать разрушения хрупких угольных образцов. Давление жидкости может достигать 45 МПа, что соответствует залеганию угля на глубине до 900 м. Оно поддерживается на одном уровне пневмогидроаккумулятором и регулируется клапанами.

Фильтрация газа осуществляется пневматической системой, которая обеспечивает заданный перепад давления на торцах образца. Она включает компрессорную станцию и баллоны с различными газами, используемыми для насыщения образца.

Методика изучения интенсификации фильтрации метана в угольном керна при виброволновом воздействии и одновременном изменении его напряженно-деформированного состояния заключается в следующем: для продувки подводящего канала 1 подается воздух под давлением и на выходе в канале 2 измеряется содержание метана и объем воздушной смеси. Если концентрация метана в канале 2 равна нулю, включается виброисточник, настроенный на заданную частоту, дополнительно регистрируется амплитуда и частота воздействия. Изменяя частоту и амплитуду вибровоздействия, измеряются скорости фильтрации и концентрации выделившегося метана в пробоотборнике. Аналогичным образом проводятся исследования при циклическом давлении в системе нагружения. Это позволяет моделировать разгрузку массива и оценивать количество выделившегося газа, находящегося в порах.

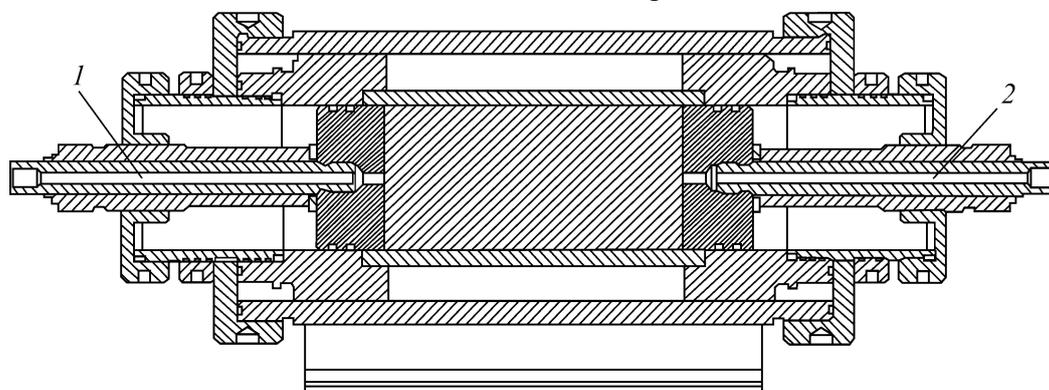


Рис. 5. Схема камеры высокого давления

Стенд дает возможность определять эффективность очистки призабойной зоны скважины от кольматации. Для этого в напорную струю воздуха добавляют порошок угля и продувают нагруженный образец в камере до значительного уменьшения фильтрации. Затем подается метан под давлением до 5 МПа и фиксируется скорость фильтрации. Чтобы очистить керн от угольного порошка, применяется вибросейсмическое воздействие и меняется напряженно-деформированное состояние. Подключая вакуум-насос, можно увеличить или циклически изменить перепад давления на торцах образца, после чего установить скорость фильтрации метана.

ВСПОМОГАТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Для доставки образцов с горных предприятий до лаборатории разработаны контейнеры (рис. 6). Они обеспечивают герметизацию и позволяют контролировать давление во время транспортировки и хранения керна, а также измерять выделившийся объем свободного газа из образца угля.



Рис. 6. Контейнер для транспортировки керна: *а* — вид спереди; *б* — вид сзади

Термическая стабилизация достигается путем размещения нескольких контейнеров в кейсе, способном поддерживать постоянную температуру с точностью до 1°C. Элементы Пельтье, обеспечивающие необходимый нагрев или охлаждение, питаются от аккумуляторов, бортовой сети автомобиля 12 В или сети 220 В.

ВЫВОДЫ

Разработан многофункциональный стенд, позволяющий исследовать основные процессы, происходящие в угольном образце, определять универсальные зависимости его физических параметров, необходимых для построения геомеханических моделей, описывающих состояние и поведение угольного пласта, содержащего сорбированный газ, а также совершенствовать технологии промышленной добычи метана и дегазации угольных пластов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. “Газпром добыча Кузнецк” сегодня [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://kuznetsk-dobycha.gazprom.ru/about/today/> (дата обращения 03.09.2018).
2. Сторонский Н. М., Хрюкин В. Т., Митронов Д. В., Швачко Е. В. Нетрадиционные ресурсы метана угленосных толщ // Рос. хим. журн. — 2008. — Т. LI. — № 6. — С. 63–72.
3. Гидравлический разрыв пласта (ГРП). [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://neftgaz.ru/tech_library/view/4421-Gidravlicheskiy-razryv-plasta-GRP (дата обращения 03.09.2018).

4. Пучков Л. А., Сластунов С. В., Коликов К. С. Извлечение метана из угольных пластов. — М.: МГГУ, 2002. — 383 с.
5. Дуган Т., Арнольд Э. GAS! Страницы истории добычи угольного метана в бассейне Сан-Хуан. — М.: GBM Partners, 2008. — 186 с.
6. Клишин В. И., Зворыгин Л. В., Лебедев А. В., Савченко А. В. Проблемы безопасности и новые технологии подземной разработки угольных месторождений. — Новосибирск: Новосибирский писатель, 2011. — 524 с.
7. Павленко М. В., Гурьев С. В., Лопухов Г. П., Юров А. А. Дегазация угольных пластов с использованием наземных сейсмоисточников // Горн. журн. — 2015. — № 1. — С. 42–46.
8. Филимонов П. Е., Бокий Б. В., Чередникова В. В., Софийский К. К., Силин Д. П., Агаев Р. А., Швец И. С. Повышение эффективности поверхностных дегазационных скважин с применением пневмогидродинамического и электроразрывного воздействий // Геотехническая механика: межвед. сб. науч. тр. — Днепропетровск: ИГТМ НАНУ, 2012. — Вып. 102. — С. 7–18.
9. Li C., Ai D., Sun X., and Xie B. Crack identification and evolution law in the vibration failure process of loaded coal, J. of Geoph. and Eng., 2017, Vol. 14, No. 4. — P. 975–986.
10. Liu G., Liu Z., Feng J., Song Z., and Liu Z. Experimental research on the ultrasonic attenuation mechanism of coal, J. of Geoph. and Eng., 2017, Vol. 14, No. 3 — P. 502–512.
11. Курленя М. В., Громов А. М., Дегтярева Н. В., Сердюков С. В., Ткач Х. Б. Стенд для исследования нелинейного взаимодействия физических полей и нефтегазового пласта // ФТПРПИ. — 2001. — № 2. — С. 98–104.
12. АО “Геологика” [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.geologika.ru/> (дата обращения 03.09.2018).
13. Zhao Y., Wu J., Zhang P., and Xiao P. Approximate relationship of coal bed methane and magnetic characteristics of rock via magnetic susceptibility logging, J. of Geoph. and Eng., 2012, Vol. 9. No. 1. — P. 98–104.
14. Feng Y., Yang W., and Chu W. Coalbed methane adsorption and desorption characteristics related to coal particle size, Chin. Phys. B., 2016, Vol. 25, No. 6, P. 068102.
15. Усов О. А., Минеев С. П., Дякун Р. А., Трохимец Н. Я., Поляков Ю. Е., Янжула А. С., Рудь В. П. Лабораторные исследования двумерной фильтрации воды через угольные образцы // Форум горняков: материалы междунар. науч.-практ. конф., 4–7 октября 2017 г. — Днепр: НГУ, 2017. — С. 298–307.
16. Maloney D. NBU routine core analyses and sonic core tests in support of seismic recovery, LLC’s field demonstration project, Enhanced oil recovery with downhole vibration stimulation in Osage County Oklahoma, Final Report, Appendix E, 2003.

Поступила в редакцию 3/IX 2018