

НОВЫЕ МЕТОДЫ И ПРИБОРЫ В ГОРНОМ ДЕЛЕ

УДК 550.834

ГЕРМЕТИЗАЦИЯ ДЕГАЗАЦИОННЫХ СКВАЖИН УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ МЕТОДОМ БАРЬЕРНОГО ЭКРАНИРОВАНИЯ

М. В. Курленя, Т. В. Шилова, С. В. Сердюков, А. В. Патутин

*Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН, E-mail: ss3032@yandex.ru,
Красный проспект, 54, 630091, г. Новосибирск, Россия*

Разработан способ барьерного экранирования дегазационных скважин угольных пластов, обеспечивающий снижение фильтрации воздуха в зону вакуумирования скважин из горных выработок через каналы во вмещающих породах. Предложены и исследованы составы для создания экранов с внешним изолирующим слоем, препятствующим оттоку рабочей жидкости в окружающую среду.

Угольный пласт, предварительная дегазация, добыча метана, дегазационная скважина, герметизация

Одно из перспективных направлений развития угледобывающей отрасли — добыча метана как самостоятельного сырьевого продукта для химических производств и получения моторного топлива [1].

Существующие технологии выделения (повышения концентрации) метана из его смеси с воздухом малорентабельны. Получение метана необходимой степени чистоты возможно только на стадиях заблаговременной и предварительной дегазации угольных пластов.

Снижение газонасыщенности угля до начала очистных работ важно также для повышения безопасности и эффективности подземной разработки угольных месторождений. Значение предварительной дегазации возрастает с увеличением глубины залегания, газоносности продуктивных пластов и интенсивности их разработки.

Для выполнения дегазационных работ бурят и герметизируют большое количество скважин диаметром 50–400 мм [2]. Вакуумными насосами в них создают низкое давление и повышают приток метана из низкопроницаемого углепородного массива.

Неблагоприятным фактором является фильтрация воздуха в зону низкого давления из горных выработок через поры и трещины во вмещающих породах. Недостаточное качество герметизации снижает эффективность вакуумирования дегазационных скважин, повышает опасность взрыва извлекаемой метановоздушной смеси, существенно затрудняет ее промышленное использование, в частности синтез моторного топлива.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (соглашение № 14-05-31175).

Известные способы изоляции дегазационных скважин предусматривают установку на устье скважины обсадной трубы и ее цементирование. Для уменьшения поступления воздуха также цементируют стенки горных выработок вокруг устья дегазационных скважин и/или пропитывают смолами слой пород вокруг скважины. Оба метода, как показывает практика, недостаточно эффективны. Так, по австралийским данным, почти 50 % дегазационных скважин имеют неудовлетворительное качество герметизации [3].

К недостаткам существующих способов герметизации относятся:

- неполное заполнение каналов фильтрации воздуха высоковязкими составами;
- образование новых фильтрационных каналов при деформации пород и цементного камня под влиянием горных работ;
- невозможность перекрытия путей поступления воздуха, не связанных гидродинамически с интервалом герметизации скважин;
- высокая стоимость материалов и работ по снижению газопроницаемости поверхности горных выработок.

Один из способов решения проблемы — создание в массиве горных пород одного или нескольких непроницаемых экранов. В работе [4] предложен способ герметизации дегазационных скважин, предусматривающий проведение поинтервального ориентированного гидроразрыва с образованием поперечных трещин и их заполнение твердеющим составом.

Использование вязких твердеющих составов ведет к нарушениям целостности экрана из-за неравномерного отвердевания и падения давления состава на отдельных участках экрана ниже давления запирающей трещины гидроразрыва. Возможно также нарушение сплошности экрана под влиянием техногенного деформирования пород.

Для преодоления указанных недостатков предложено заполнять полость экрана жидкими составами под давлением не выше давления распространения трещины гидроразрыва [5, 6]. Возможные утечки рабочей жидкости во вмещающие горные породы только повышают качество герметизации дегазационных скважин за счет формирования барьера — слоя горных пород между экраном и поверхностью горной выработки с градиентом порового давления, направленным против фильтрации воздуха в зону вакуумирования.

В настоящей статье рассмотрены схема герметизации дегазационных скважин методом барьерного экранирования и результаты стендовых исследований жидких составов различной вязкости для его реализации.

Барьерное экранирование дегазационных скважин. Для снижения утечек жидкости в зонах повышенной проницаемости угленосного массива разработана двухслойная схема барьерного экрана (рис. 1).

На первом этапе создают трещину гидроразрыва и заполняют ее полость двухкомпонентным низковязким акрилатным составом на водной основе со временем полимеризации, регулируемым химическими добавками. Содержание этих добавок выбирают исходя из температуры вмещающих горных пород таким образом, чтобы время полимеризации состава после смешения компонентов составляло 20–30 мин. Акрилатный состав проникает в горную породу и после полимеризации создает в ней изоляционный слой, препятствующий оттоку жидкости из полости экрана.

На втором этапе до завершения полимеризации внешнего слоя экрана в него закачивают основной жидкий состав, исходная вязкость которого должна быть низкой для лучшего заполнения трещины гидроразрыва, а конечная вязкость — повышенной для снижения утечек жидкости.

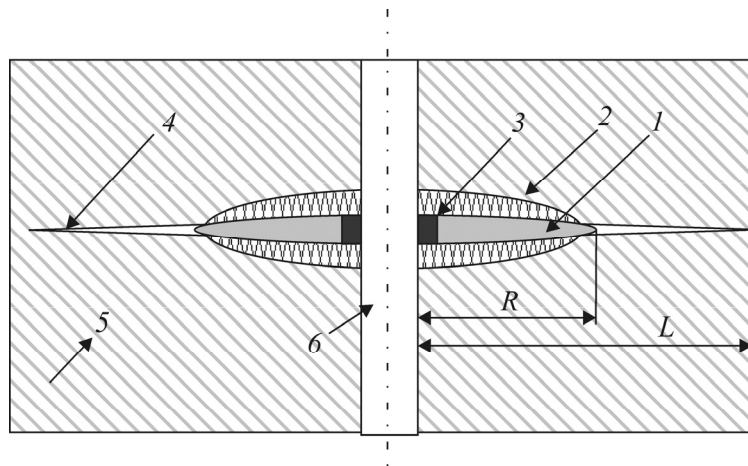


Рис. 1. Схема барьерного экранирования дегазационной скважины: 1 — полость экрана, заполненная основной жидкостью под давлением; 2 — внешний изолирующий слой; 3 — запирающая пробка на устье трещины; 4 — незаполненная часть трещины поперечного гидроразрыва; 5 — углелепородный массив; 6 — дегазационная скважина

Необходимыми свойствами обладают гидравлические и промышленные масла со значительной зависимостью вязкости от температуры. Для заполнения экрана лучше использовать разогретое масло, вязкость которого многократно возрастает после охлаждения до температуры вмещающих пород.

В соответствии с разработанным способом барьерного экранирования давление основного состава поддерживают выше давления сжатия полости экрана горными породами и ниже давления распространения трещины гидроразрыва.

На завершающем этапе устье трещины гидроразрыва закрывают пробкой, предотвращающей отток рабочей жидкости из полости экрана в дегазационную скважину. Для запираения экрана подходит битумно-полимерная мастика (жидкая резина) холодного применения.

В низкопроницаемых породах формирование акрилатного слоя не обязательно.

Исследование составов для экранирования дегазационных скважин. Для моделирования барьерного экрана в качестве основного состава использовали гидравлическое масло МГЕ-46В, в качестве материалов внешнего изоляционного слоя — акрилатные гели CarboCrilHv, CarboCrilWv производства компании “MINOVA CarboTechGmbH” (Германия). Эти гели после полимеризации обладают эластичностью и высокой прочностью на разрыв, а также стойкостью к воздействию агрессивных сред. До полимеризации они имеют низкую вязкость и при закачке в горные породы способны заполнять трещины раскрытием менее 0.1 мм.

Исследования влияния барьерного экрана на газопроницаемость горных пород проведены на установке, схема которой показана на рис. 2.

В ходе экспериментов в испытательную камеру установки помещали два цилиндрических образца пористого песчаника, разделенных между собой щелью, имитирующей полость экрана. Диаметр образцов составлял 30 мм, высота 30 мм, пористость 20 %. Начальная измеренная проницаемость песчаника по азоту 219 мД.

Моделирование пластовых условий в установке осуществлялось осевым сжатием (прессом Н4) и равномерным боковым обжатием (насосом Н1) образцов через изолирующую оболочку. Оценку проницаемости модели проводили по методике и расчетным формулам ГОСТ 26450.2-85 [7]. Измерения расхода газа выполняли реометром РКС-1, соответствующим техническим условиям ГОСТ 9932-75 [8].

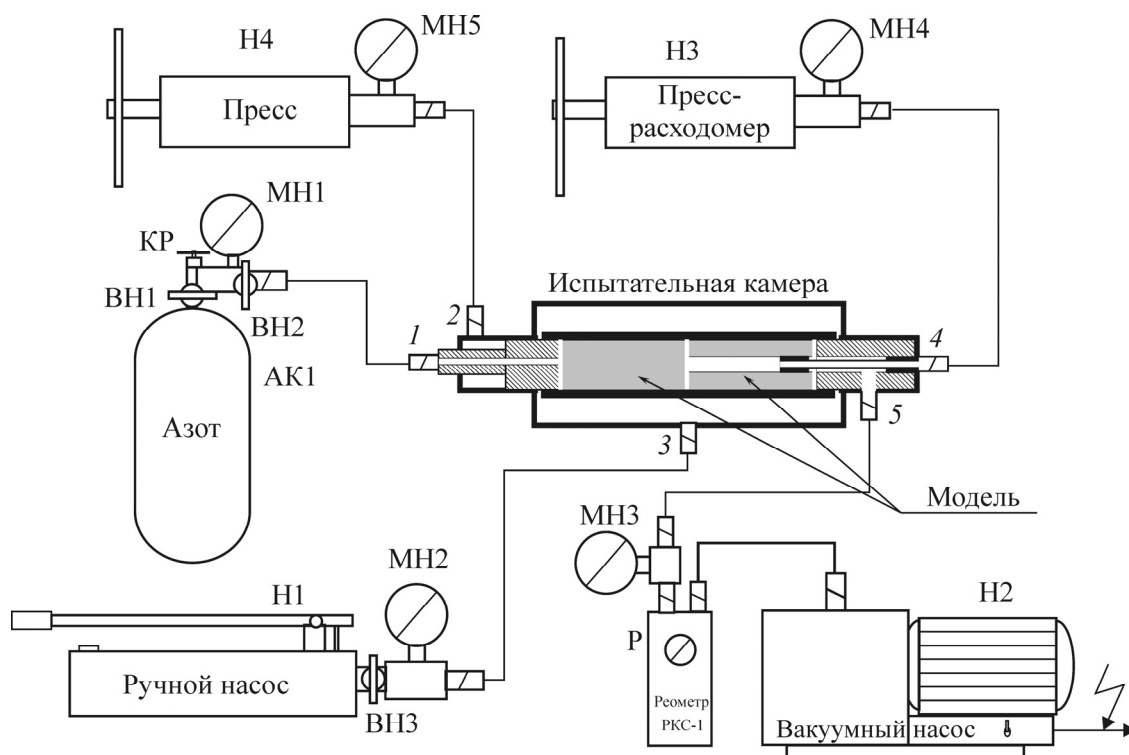


Рис. 2. Схема установки по исследованию газопроницаемости горных пород при барьерном экранировании: АК1 — баллон со сжатым азотом и газовым редуктором КР; Р — реометр РКС-1; Н1 — ручной гидравлический насос; Н2 — вакуумный насос со входным водоотделителем; НЗ, Н4 — гидравлические прессы; ВН1, ВН2 — газовые вентили; ВН3 — гидравлический вентиль; МН1, МН2, МН4, МН5 — манометры образцовые; МН3 — вакуумный барометр GDH12AN

Эксперименты проводили следующим образом. Создавали сжатие модели подачей давления заданной величины на вход 3 испытательной камеры, на вход 1 подавали азот под давлением 0.2 МПа, а вход 5 подключали к вакуумной подсистеме в составе вакуумного насоса Н2, вакуумного манометра МН3 и реометра РКС-1-0.6 (см. рис. 2). Включали вакуумный насос и по манометру МН3 устанавливали давление 10 кПа. Выдерживали 5 мин и в стационарном режиме фильтрации измеряли расход газа по показаниям реометра Р.

Через вход 4 испытательной камеры в щель между образцами песчаника подавали пресс-расходомером НЗ исследуемый состав под давлением 1 МПа, выдерживали 5 мин и измеряли расход газа по показаниями реометра. Ступенчато повышали давление на входе 4 с шагом 0.5 МПа вплоть до достижения им значения 5 МПа, выдерживали на каждом шаге 5 мин и измеряли давление.

Затем аналогичные измерения проводили, ступенчато снижая давление в экране с 5 МПа до 1 МПа.

Оценку газопроницаемости выполняли по формуле [7]

$$K_G = \frac{10^3 Q \mu P_1 L}{\Delta P (\Delta P / 2 + P_1) F},$$

где K_G — газопроницаемость, мД (10^{-3} мкм²); $F = 6.6$ см² — площадь сечения составной модели; $L = 6$ см — длина модели; P_1 — давление на входе 1 испытательной камеры, бар; Q — расход газа, см³/с; ΔP — перепад давления между входами 1 и 5 испытательной камеры, бар; μ — динамическая вязкость азота при температуре T окружающей среды, мПа·с.

Результаты экспериментов. Для моделирования влияния близлежащей горной выработки на сжатие полости барьерного экрана осевое сжатие модели было выбрано ниже значения бокового сжатия, которое во всех экспериментах составляло 5 МПа. Температура окружающей среды во время экспериментов поддерживалась около 20 °С. Результаты измерений расхода газа обрабатывали по приведенной выше формуле. Результаты обработки данных представлены на рис. 3, 4.

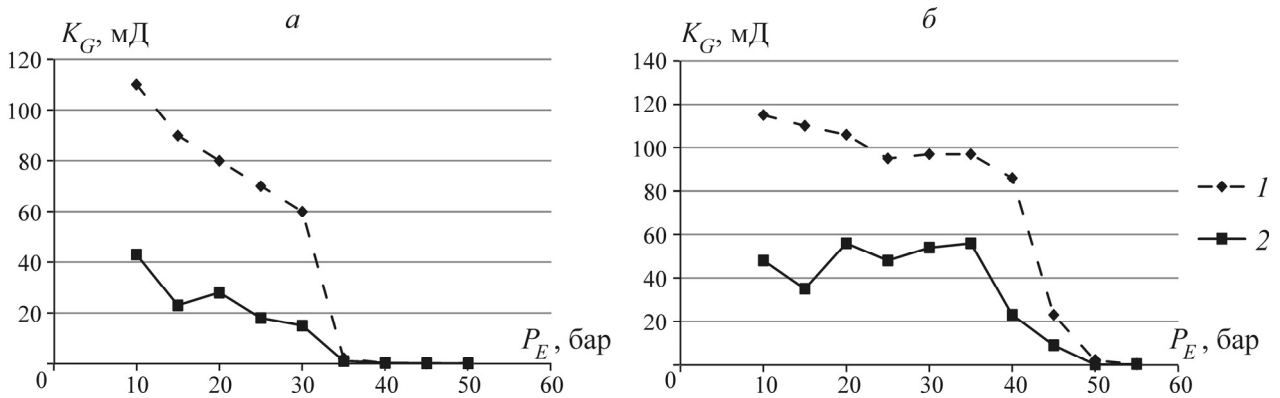


Рис. 3. Зависимость газопроницаемости модели K_G от давления рабочей жидкости в барьерном экране P_E при его повышении (1) и снижении (2): давление осевого сжатия модели 4 МПа (а), 5 МПа (б); рабочая жидкость — гидравлическое масло МГЕ-46В

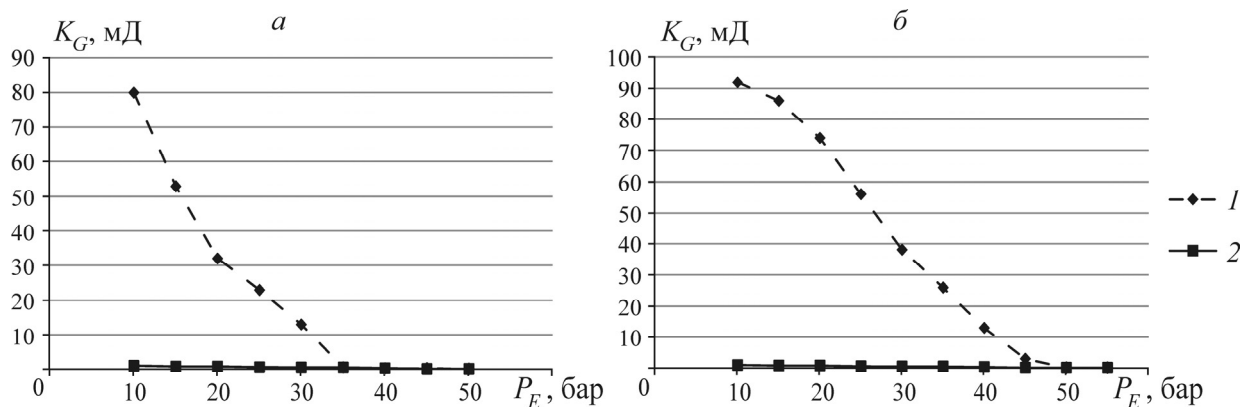


Рис. 4. Зависимость газопроницаемости модели K_G от давления рабочей жидкости в барьерном экране P_E при его повышении (1) и снижении (2): давление осевого сжатия модели 4 МПа (а), 5 МПа (б), бокового обжима 5 МПа; рабочая жидкость — двухкомпонентная гидроизолирующая пропитка CarboCrylHv

Из представленных результатов следует, что оба исследуемых состава обеспечивают значительное (в 100 раз и более) снижение газопроницаемости при давлениях не ниже давления осевого сжатия модели. Такое давление достаточно для раскрытия полости экрана, его заполнения рабочей жидкостью и создания сплошного непроницаемого экрана. Применение барьерного экранирования с давлением в экране на 1 МПа меньше давления сжатия экрана вмещающей средой снижает газопроницаемость среды не менее чем в 135 раз, а при давлении в экране равном его сжатию — не менее чем в 560 раз.

Низковязкий двухкомпонентный состав *CarboCrylHv* (вязкость близкая к вязкости воды) лучше проникает в породу, чем вязкое гидравлическое масло (вязкость 150 сСт). Это способствует лучшей изоляции фильтрационного потока.

Перед снижением давления барьерный экран выдерживали 40 мин, что достаточно для полимеризации состава *CarboCrylHv* и образования в экране эластичной пленки, набухающей в присутствии воды. Такая полимеризация обеспечивает сохранение изолирующих свойств барьерного экрана и после сбрасывания в нем давления (см. рис. 4), что позволяет отказаться от долговременного поддержания экрана под давлением.

С другой стороны, использование индустриального масла в качестве рабочей жидкости гидроразрыва и для заполнения объема образующейся трещины (полости экрана) позволяет применять относительно дешевое типовое гидравлическое оборудование высокого давления.

ВЫВОДЫ

Разработанный способ барьерного экранирования снижает газопроницаемость горных пород в 100 раз и более, что определяет перспективность его применения как во вновь буримых, так и в действующих дегазационных скважинах с неудовлетворительным качеством герметизации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Фомин В. В.** Новая возможность альтернативной энергетики // Уголь Кузбасса. — 2011. — № 2(14).
2. **Инструкция** по дегазации угольных шахт. — М.: ИПКОН РАН, 2011.
3. **Black D., Aziz N.** Reducing coal mine GHG emissions through effective gas drainage and utilization, In: Underground Coal Operators Conference, University of Wollongong & the Australasian Institute of Mining and Metallurgy, 2009.
4. **Пат. РФ № 2108464.** Способ герметизации дегазационных скважин / Г. Я. Полевщиков, С. К. Тризно, П. Н. Мельников — заявл. 08.04.1996, опубл. 10.04.1998, Бюл. № 10.
5. **Пат. РФ № 2507378.** Способ герметизации дегазационных скважин / С. В. Сердюков, А. В. Патутин, А. С. Сердюков, Т. В. Шилова — заявл. 27.09.2012, опубл. 20.02.2014, Бюл. № 5.
6. **Shilova T., Patutin A., Serdyukov S.** Sealing quality increasing of coal seam gas drainage wells by barrier screening method, 13th SGEM GeoConference on Science and Technologies In Geology, Exploration and Mining (Bulgaria, Albena, June 16-22, 2013), SGEM2013 Conference Proceedings, 2013, Vol. 1.
7. **ГОСТ 26450.2-85.** Породы горные. Методы определения коллекторских свойств. Метод определения коэффициента абсолютной газопроницаемости при стационарной и нестационарной фильтрации. М.: Изд-во стандартов, 1985.
8. **ГОСТ 9932-75.** Реометры стеклянные лабораторные. Технические условия. М.: Изд-во стандартов, 1994.

Поступила в редакцию 18/VI 2014