

ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ВИБРАЦИИ НА ПРОНИЦАЕМОСТЬ УГОЛЬНОГО КЕРНА, СОДЕРЖАЩЕГО СКВОЗНУЮ ТРЕЩИНУ

Леонид Алексеевич Рыбалкин

Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН, 630091, Россия, г. Новосибирск, Красный пр., 54, младший научный сотрудник, тел. (983)323-33-62, e-mail: leonid.rybalkin@gmail.com

Сергей Владимирович Сердюков

Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН, 630091, Россия, г. Новосибирск, Красный пр., 54, доктор технических наук, зав. лабораторией, тел. (383)205-30-30, доб. 777, e-mail: ss3032@yandex.ru

Проведение дегазации угольных пластов, неразгруженных от горного давления, сопряжено с необходимостью интенсификации притока газа к дегазационным скважинам. Для этого проводят операцию гидроразрыва пласта. В работе рассматриваются особенности комплексной интенсификации дегазации угольных пластов трещинами гидроразрыва в поле сейсмических колебаний. Представлены результаты лабораторных исследований изменения газопроницаемости трещиноватого угля со сквозной трещиной при различных условиях геомеханического сжатия и амплитудно-частотной характеристики сейсмического воздействия. Полученные результаты позволяют оценить возможность применения сейсмического воздействия для интенсификации дегазации не расклиненных трещин гидроразрыва на угольных шахтах.

Ключевые слова: дегазация, метан угольных пластов, сейсмическое воздействие, гидроразрыв пласта.

LABORATORY STUDIES OF VIBRATION INFLUENCE ON THE PERMEABILITY OF A COAL CORE CONTAINING A THROUGH CRACK

Leonid A. Rybalkin

Chinakal Institute of Mining SB RAS, 54, Krasny Prospect St., Novosibirsk, 630091, Russia, Junior Researcher, phone: (983)323-33-62, e-mail: leonid.rybalkin@gmail.com

Sergey V. Serdyukov

Chinakal Institute of Mining SB RAS, 54, Krasny Prospect St., Novosibirsk, 630091, Russia, D. Sc., Head of Laboratory of Physical Methods of Influence on Rock Mass, phone: (383)205-30-30, extension 777, e-mail: ss3032@yandex.ru

The degassing of coal seams unloaded from rock pressure is associated with the requirement to intensify the flow of gas to degassing wells. For this purpose, a hydraulic fracturing operation is performed. The paper considers the features of the integrated intensification of coal seams' degassing performed by hydraulic fractures in the field of seismic vibrations. The work presents the results of laboratory studies of gas permeability changes in fractured coal containing a through crack under the influence of various geomechanical compression and amplitude frequency of seismic vibrations. The obtained results provide the opportunity to evaluate the possibility of seismic vibration's implication to intensify the degassing of non-wedged hydraulic fractures in coal mines.

Key words: degassing, coal seams methane, seismic vibration, hydraulic fracturing.

Введение

Разработка угольных пластов шахтным способом современными горнодобывающими комплексами позволяет сохранять высокий темп извлечения угля из все более глубоких горизонтов. Для обеспечения безопасности работы горного предприятия необходимо заблаговременно извлекать содержащийся в угле газ метан по средствам операции дегазации. Низкая проницаемость угля (0.1-10 мД) осложняет извлечение газа из неразгруженных от горного давления пластов [1]. Одним из эффективных способов искусственного повышения проницаемости и интенсификации дегазации угля является гидроразрыв пласта [2-5].

Помимо традиционных методов повышения проницаемости угольных пластов перспективным является вибросейсмическая обработка массива. Положительный эффект данного способа обработки пластов известен для коллекторов залежей природного газа [6]. Возможность применения данной технологии в условиях шахтного поля описана в ряде научных трудов и подтверждается натурными испытаниями [7,8].

Данная работа посвящена исследованию влияния вибросейсмической обработки угольного массива содержащего трещину гидроразрыва. Современные исследования в данной области посвящены изучению повышения проницаемости угля при вибросейсмической обработке за счет создания новых трещин и раскрытию естественной трещиноватости. Однако стимулирование проницаемости производится за счет воздействия колебаниями амплитудой несколько миллиметров, что по интенсивности на порядки больше, чем технически достижимо в шахтных условиях. В данной работе воздействие производится малоамплитудным полем упругих колебаний с исследованием изменения проницаемости сквозной трещине в угле.

Подготовка образцов и методика проведения экспериментов

Серии экспериментов были проведены на лабораторном стенде малогабаритной легкой испытательной камерой, установленной на вибростенд, при стационарной фильтрации линейного потока газа. Подробное описание лабораторного стенда дано в работе [9].

В экспериментах использовали длиннопламенный уголь, отобранный на Караканском каменноугольном месторождении (Пермяковский разрез, Кузнецкий бассейн). Из угля были изготовлены цилиндрические образцы диаметром 30 мм и высотой 60 мм. Вдоль оси цилиндра создавалась сквозная продольная трещина, моделирующая трещину гидроразрыва (рис. 1).

В ходе проведения серий экспериментов измеряли время фильтрации и влияние на него сжатия образца и сейсмического воздействия. Временная последовательность сейсмического воздействия, замеров времени фильтрации азота через образец до и в процессе воздействия в одном эксперименте (на одной из частот) приведена на рис. 2.

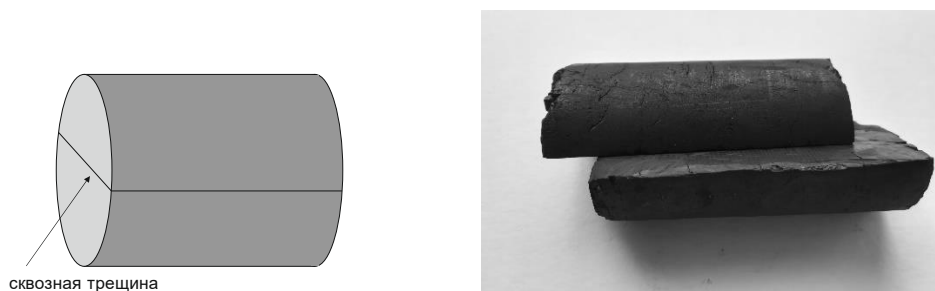


Рис. 1. Экспериментальный образец со сквозной трещиной

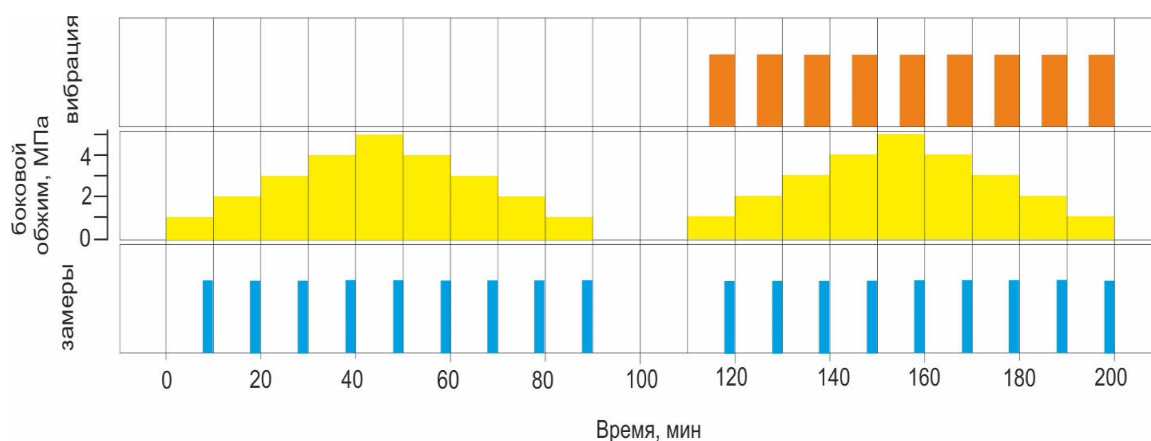


Рис. 2. Последовательность опытов в эксперименте (на одной из частот) по сейсмическому воздействию на угольный керн со сквозной трещиной

Сейсмическое воздействие с замерахми проницаемости выполнялось сеансами длительностью 20-30 мин на частотах 40, 80, 120, 160, 200 и 240 Гц с амплитудой сигнала на выходе вертикального сейсмоприемника GMT-12.5, установленного на виброплатформу, 10, 50 и 100 мВ. Боковой обжим керна составлял 1, 2, 3, 4, 5 Мпа, а дифференциальное давление газа 0.1, 0.2, 0.3 МПа.

Всего выполнено 270 сеансов (опытов). Через 7 суток после окончания последнего сеанса сейсмического воздействия проведены повторные исследования проницаемости тестируемого угля.

Обсуждение результатов

Фоновые (до начала сейсмического воздействия) зависимости времени фильтрации азота от бокового обжима и дифференциального давления через сплошной керн показаны на рис. 3, те же исследования для образца со сквозной (дренажной) трещиной без проппанта при дифференциальных давлениях 0.005, 0.01 и 0.015 Мпа показаны на рис. 4.

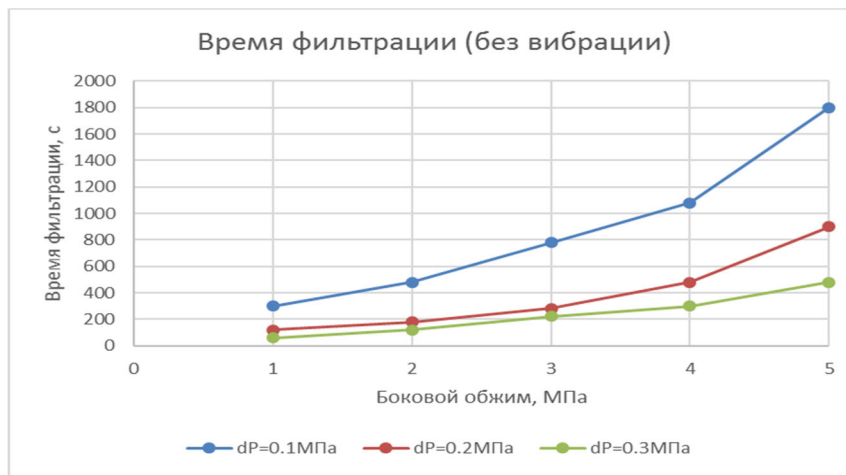


Рис. 3. Зависимость времени фильтрации газа через сплошной угольный керн от бокового обжима и дифференциального давления до сейсмического воздействия

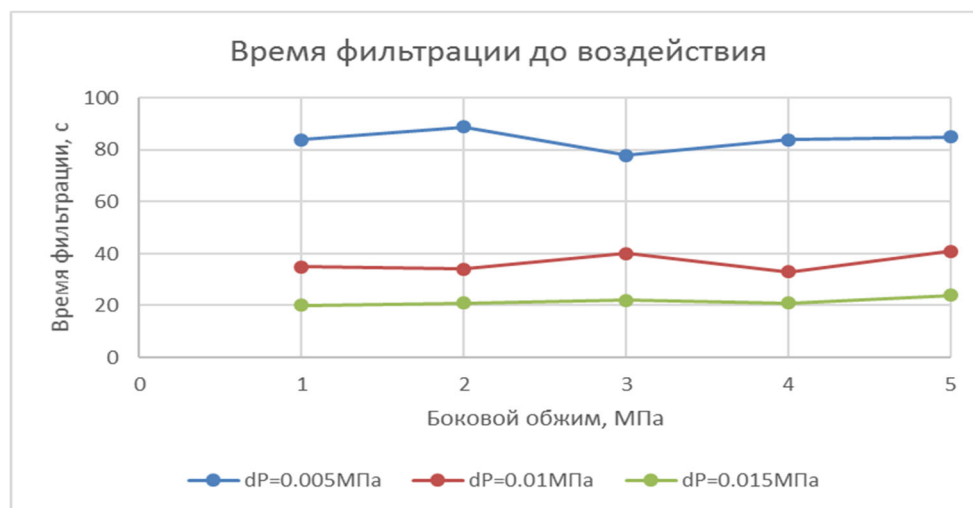


Рис. 4. Начальная (до воздействия) зависимость времени фильтрации газа через образец угля с нерасклиненной проппантом сквозной трещиной от бокового обжима

Сравнение между собой графиков на рис. 3 и 4 показывает, что наличие сквозной нерасклиненной проппантом трещины даже при дифференциальных давлениях газа в 20 раз ниже, чем в опытах со сплошным угольным керном, уменьшает время фильтрации в 3-20 и более раз. Это показывает, что в образцах со сквозной трещиной проницаемостью самого угля можно пренебречь.

На рис. 5 приведены графики изменения проницаемости тестируемого образца угля со сквозной трещиной в зависимости от частоты и амплитуды колебаний для $\Delta P=0.005, 0.01, 0.015$ МПа.

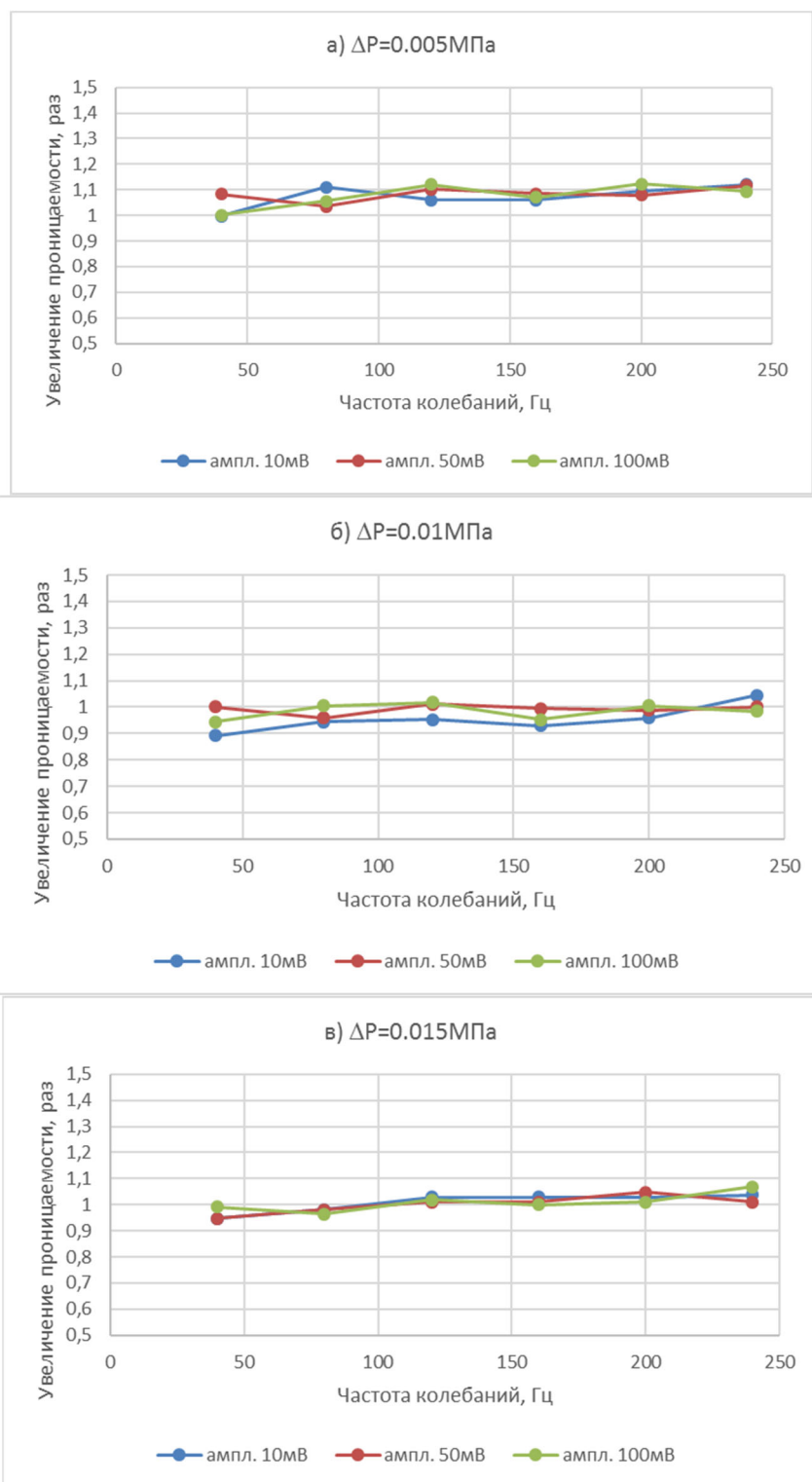


Рис. 5. Изменение приведенной проницаемости образца со сквозной трещиной от частоты и амплитуды колебаний

Представленные на рис. 5 графики не показывают заметного влияния сейсмических колебаний на фильтрацию газа через тестируемый образец угля со сквозной трещиной, не расклиненной пропантом. Отметим, что это согласуется с ранее полученными результатами о снижении эффективности воздействия

упругих колебаний на сплошной угольный керн при увеличении его начальной проницаемости.

Известные промысловые испытания показывают, что без заполнения трещин пропантом гидроразрыв угольных пластов дает кратковременное (до 2-х недель) увеличение дебита газа до 3 раз, но не оказывает практически значимого влияния на извлечение метана за весь период эксплуатации скважины. Напротив, множественный поперечный гидроразрыв дегазационных скважин с закачкой 100 кг кварцевого песка в качестве пропанта на один разрыв, повышает дебит газа в 22 – 180 раз, причем этот процесс носит долговременный характер и наблюдается в течение всего времени работы скважин (до 1-2 лет).

Поскольку в течение 2-х недель эффект все же наблюдается, то трещина гидроразрыва при сбросе давления рабочей жидкости закрывается не полностью. Поэтому гидроразрыв угольных пластов без пропанта подобен тестируемой в экспериментах сквозной трещине.

Выводы

Проведены серии экспериментов по исследованию зависимости проницаемости сплошного угольного керна и содержащего сквозную трещину при приложении малоамплитудного поля упругих колебаний.

Установлено малое увеличение проницаемости дренажной трещины не расклиненной пропантом.

Возможность применения комплексной системы обработки угольных пластов на базе гидроразрыва и вибрационного воздействия без закрепления берегов трещин позволит добиться удовлетворительных результатов.

Полезное последствие вибрационной обработки наблюдается в течении нескольких недель.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Sander R., Pan Z., Connell L. D. Laboratory measurement of low permeability unconventional gas reservoir rocks: A review of experimental methods // *Journal of Natural Gas Science and Engineering*. – 2017. – Т. 37. – P. 248-279.
2. Flores R. M. Coal and coalbed gas: Fueling the future. – Newnes, 2013.
3. Ютяев Е. П., Садов А.П., Мешков А.А. и др. Оценка фильтрационных свойств угля в гидродинамических испытаниях дегазационных пластовых скважин // *Уголь*. – 2017. – № 11 (1100). – С. 24-29.
4. Леконцев Ю. М., Сажин П. В. Технология направленного гидроразрыва пород для управления труднообрушающимися кровлями в очистных забоях и дегазации угольных пластов // *Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых*. – 2014. – № 5. – С. 137-142.
5. Плаксин М. С., Родин Р. И., Рябцев А.А. и др. Гидроразрыв угольного пласта в шахтных условиях как панацея решения газовых проблем шахт (основы разработки и внедрения) // *Уголь*. – 2015. – № 2. – С. 48-50.
6. Westermarck R., Brett J. F. Enhanced oil recovery with downhole vibration stimulation in Osage County. Final Report DOE Contract Number DE-FG26-00BC1519, Oklahoma: Oil & Gas Consultants International, Inc., 2003. – 181 p.

7. Сердюков С. В., Рыбалкин Л. А., Азаров А. В., Дергач П. А., Сердюков А. С. Скважинный вибрационный источник для сейсмического воздействия на призабойную зону породного массива // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2016. – № 5. – С. 186-204

8. Васючков Ю.Ф., Павленко М.В. Разработка способа увеличения газоотдачи из низкопроницаемого газоносного угольного массива // Горный информационноаналитический бюллетень. – 2007. – № 4. – С. 22.

9. Рыбалкин Л.А., Дробчик А. Н. Экспериментальный стенд и результаты исследований влияния упругих колебаний на скорости фильтрации газа // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2018. – Т. 6. – С. 147-154.

© Л. А. Рыбалкин, С. В. Сердюков, 2020