



**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА РАЗРУШЕНИЯ
УГОЛЬНОГО ПЛАСТА ПРИ ПОИНТЕРВАЛЬНОМ ГИДРОРАЗРЫВЕ**

**В. И. Клишин, О. В. Тайлаков, Г. Ю. Опрук, М. П. Макеев,
С. В. Соколов, Е. А. Уткаев, А. С. Телегуз**

*Институт угля Федерального исследовательского центра угля и углехимии СО РАН,
E-mail: klishinvi@icc.kemsc.ru, Ленинградский просп. 10, г. Кемерово 650065, Россия*

Разработана и представлена технологическая схема гидродинамического воздействия на углепородный массив, включающая ввод пакера в скважину, ее герметизацию, собственно гидроразрыв, разгерметизацию скважины и перемещение пакера. Исследован процесс формирования и развития трещин при нагнетании флюидов в горные породы. Показано, что процесс разупрочнения угольного пласта происходит под воздействием серии повторяющихся импульсов изменения давления жидкости в прискважинном пространстве. Обсуждены результаты оценки состояния угольного пласта до и после стимулирования его газоотдачи сейсмологическим методом.

Поинтервальный гидроразрыв, сейсмологический мониторинг, интенсификация дегазации, устройство гидроразрыва пласта

**EXPERIMENTAL RESEARCHES OF COAL SEAM FAILURE
IN INTERVAL HYDRAULIC FRACTURING**

**V. I. Klishin, O. V. Tailakov, G. Yu. Opruk, M. P. Makeev,
S. V. Sokolov, E. A. Utkaev, and A. S. Teleguz**

*Institute of Coal, Federal Research Center for Coal and Coal Chemistry,
Siberian Branch Russian Academy of Sciences, E-mail: klishinvi@icc.kemsc.ru,
Leningradskiy pr. 10, Kemerovo 650065, Russia*

The flow chart of the hydrodynamic effect on coal rock mass is developed and presented, including the packer introduction into the well, well sealing, hydraulic fracturing, unsealing and displacement of the packer. The process of fracture formation and development during injection of fluids into rocks is investigated. It is shown that a coal seam loosens under the influence of a series of repetitive pulses of change in the pressure of fluid in the borehole space. The estimation results of the coal seam state before and after stimulating its gas recovery by the seismological method are discussed.

Interval hydraulic fracturing, seismological monitoring, degassing stimulation, hydraulic fracturing device

Для эффективной и безопасной подземной угледобычи в условиях высокой газоносности угольных пластов необходимо устойчивое функционирование дегазационных систем шахт, обеспечивающих извлечение метана из рабочих пластов и пластов спутников. С целью интенсификации предварительной дегазации неразгруженных угольных пластов [1–4] разработан метод поинтервального гидроразрыва [5], заключающийся в создании системы трещин в скважине, ориентированных вкрест простирания пласта (рис. 1).

Для формирования в скважине сети трещин с заданным интервалом используется разрывное устройство — пакер (рис. 2), состоящее из двух упруго расширяющихся рукавов и клапана разрыва, расположенного между ними [6]. Такая конструкция позволяет локализовать участок скважины, подвергаемый гидродинамическому воздействию, а при увеличении количества интервалов гидроразрыва — контролировать процесс трещинообразования равномерно по всей скважине.

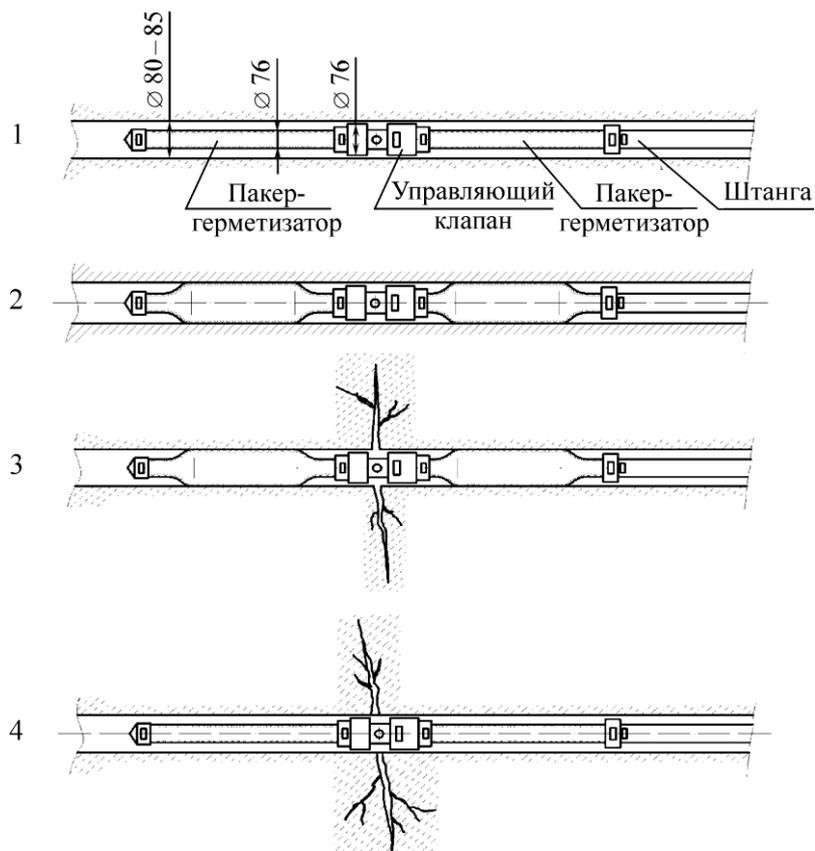


Рис. 1. Технологическая схема реализации поинтервального гидроразрыва угольного пласта: 1 — ввод пакера в скважину; 2 — герметизация скважины; 3 — гидроразрыв; 4 — разгерметизация скважины и перемещение пакера

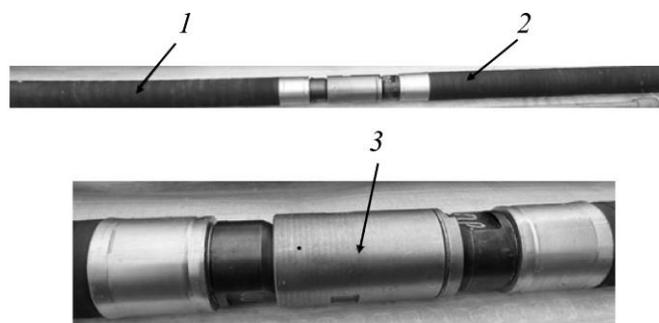


Рис. 2. Разрывное устройство: 1, 2 — упруго расширяющийся рукав; 3 — клапан разрыва

Опробование разработанного устройства для повышения эффективности предварительной дегазации и увеличения дебита метановоздушной смеси проведено на шахте “им. С. М. Кирова” в скважине № 66 диаметром 93 мм, пробуренной из горной выработки конвейерного штрека выемочного участка № 24-62 в угольный пласт Болдыревский на глубину 140 м (рис. 3). Монтаж высоконапорного оборудования и контрольно-измерительной аппаратуры выполнен по схеме, представленной на рис. 4.

Разрывное устройство подавалось в скважину на ставе высоконапорных труб с быстроразъемным соединением. Затем осуществлялась закачка жидкости в скважину под давлением с непрерывной регистрацией его изменений и контролем температуры с помощью автономного высокоточного электронного манометра, оснащенного датчиком температуры [7, 8]. В скважине проведено четыре гидроразрыва на изолированных интервалах с шагом между ними 10 м. Отсутствие возможных перетоков пакеров с последующим выдавливанием жидкости в скважину гидроразрыва контролировалось визуально на ее устье в горной выработке.



Рис. 3. Схема расположения дегазационной скважины с поинтервальным гидроразрывом

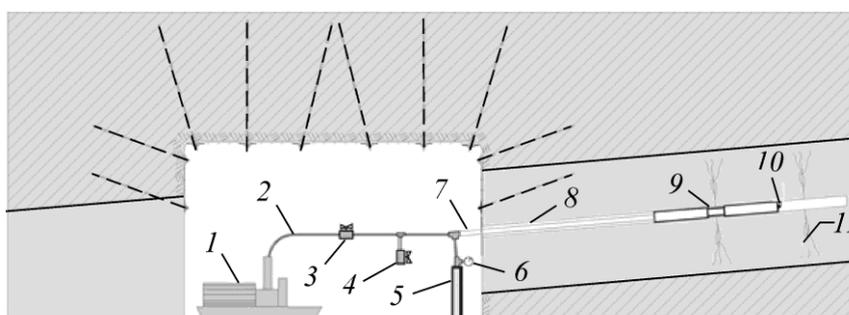


Рис. 4. Технологическая схема расположения оборудования: 1 — насосная станция; 2 — высоконапорный рукав; 3 — кран подачи рабочей жидкости; 4 — кран слива; 5 — колба высокого давления с автономным манометром; 6 — механический манометр; 7 — став высоконапорных труб; 8 — скважина гидроразрыва; 9 — разрывное устройство; 10 — заглушка; 11 — трещины гидроразрыва

На рис. 5 показан процесс гидроразрыва на первом изолированном интервале. При нагнетании рабочей жидкости по достижении давления 10.29 МПа открылся клапан (КП) для подачи флюида в межпакерный интервал. После чего на 38-й секунде выполнения работ по стимуляции скважины при давлении 9.87 МПа (Грс1) произошло расчленение пласта с падением давления до 9.58 МПа. При давлениях 10.17, 10.12 и 10.17 МПа (Грс2, Грс3, Грс4) зарегистрированы незначительные падения давления. Дальнейшие работы по гидродинамическому воздействию сопровождались насыщением пласта без перепадов давления.

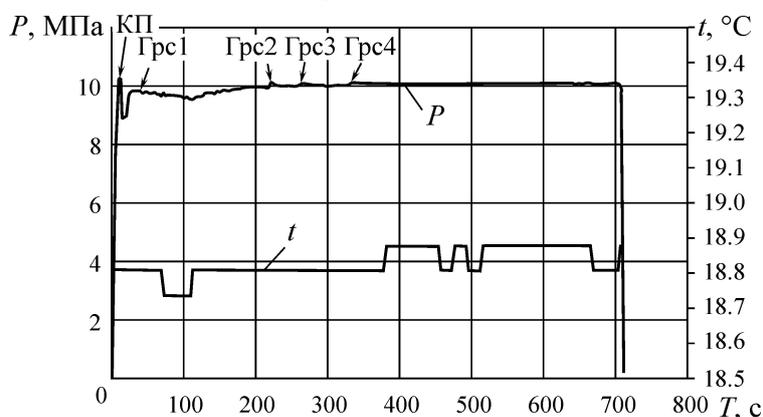


Рис. 5. Изменение давления P и температуры t во времени T при проведении гидродинамического воздействия (Грс) на пласт в скважине № 66

Для оценки эффективности гидродинамического воздействия на угольный пласт [9, 10] применен метод сейсмологического мониторинга на проходящих волнах до и после гидроразрывов с использованием автономных сейсмических станций Р-1, предназначенных для реализации многоканальных систем наблюдения с неограниченным количеством пунктов приема сейсмических данных. Горизонтальный геофизический разрез распределения скоростных характеристик в области выемочного столба 24-62 до и после проведения гидроразрыва, построенный по результатам выполненных камеральных работ, представлен на рис. 6.

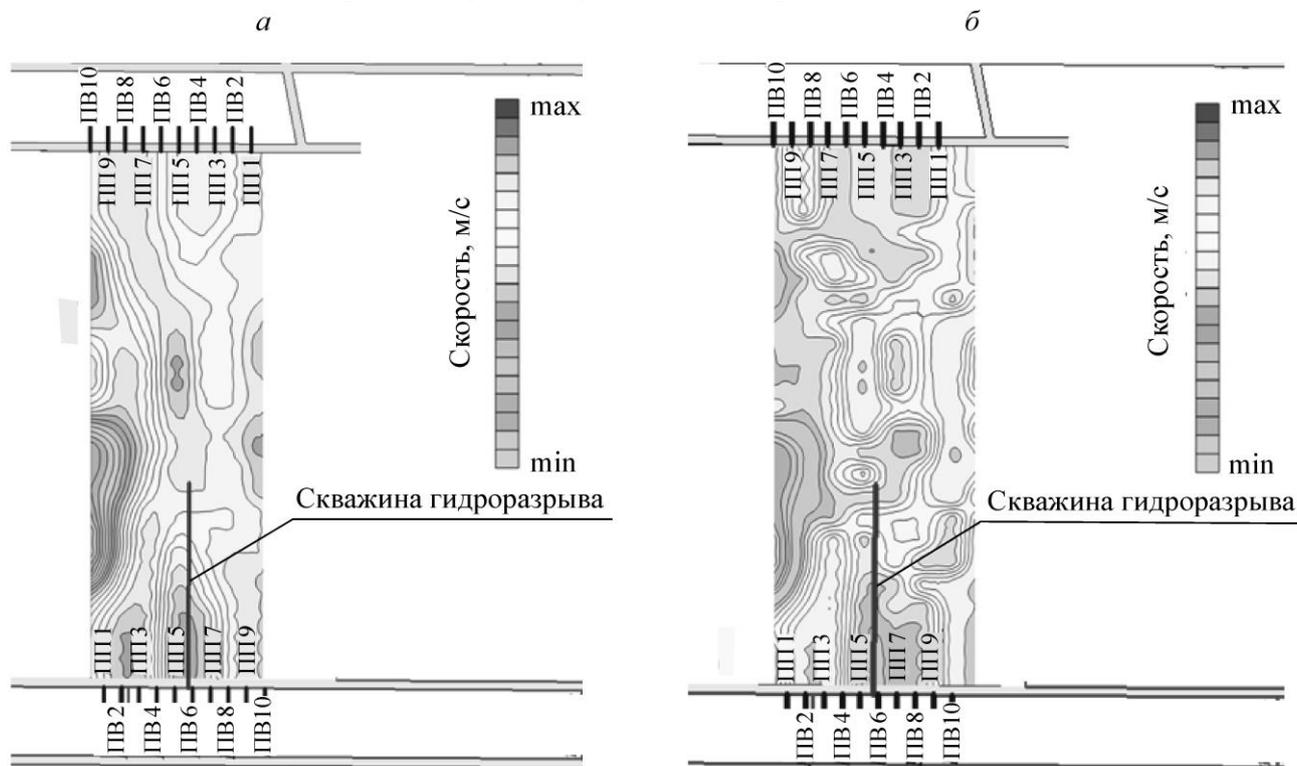


Рис. 6. Геофизический разрез распределения скоростных характеристик в области выемочного столба 24-62 до проведения гидроразрыва (а) и после (б)

Анализ данных сейсмического просвечивания на горизонтальном томографическом разрезе распределения скоростных характеристик после проведения гидроразрыва показал снижение скоростного фона, которое является следствием общей разгрузки, вызванной развитием сети трещин. Это состояние зарегистрировано в пределах 95 м всего исследованного интервала выемочного столба. Кроме того, определена зона максимальной разгрузки, распространившаяся от области заложения скважины гидроразрыва на расстояние более 60 м и отражающая общее направление развития сети газодренажных каналов в результате гидровоздействия.

ВЫВОДЫ

Применение разработанного пакера и технологии проведения поинтервального гидроразрыва угольных пластов позволяет эффективно создавать развитую систему искусственных трещин, обеспечивающих повышение проницаемости прискважинной зоны и газовыделения в ее границах. Экспериментально установлено, что гидроразрыв угольного пласта в пределах интервала герметизации пластовой скважины представляет собой процесс последовательно повторяющихся импульсов роста и падения давления нагнетаемого флюида, соответствующих процессу интенсивного развития трещин. В исследованиях методом сейсмического просвечивания зафиксировано снижение скорости распространения звуковых волн в прискважинной зоне после проведения поинтервального гидроразрыва угольного пласта, подтверждающее разупрочнение угольного пласта и повышение его проницаемости.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. **Klishin V. I. and Kurlenya M. V.** Creation of equipment for the degassing of coal seams on the principle of rock fracturing, *Coal*, 2011, no. 10, pp. 34–38 (in Russian) [**Клишин В. И., Курленя М. В.** Создание оборудования для дегазации угольных пластов на принципе гидроразрыва горных пород // *Уголь*. — 2011. — № 10. — С. 34–38.]
2. **Ruban A. D., Zaburdyayev V. S., Zaburdyayev G. S. and Matvienko N. G.** Methane in coal mines and collieries of Russia: forecast, extraction and use, Moscow, IPKON RAS, 2006, 312 pp. (in Russian) [**Рубан А. Д., Забурдяев В. С., Забурдяев Г. С., Матвиенко Н. Г.** Метан в угольных шахтах и рудниках России: прогноз, извлечение и использование. — М.: ИПКОН РАН, 2006. — 312 с.]
3. **Dugan T. and Arnold E.** GAS! Pages on the history of coal methane production in the San Juan, Transl. from English, Moscow, CBM Partners Corporation, 2008, 208 pp. (in Russian) [**Дуган Т., Арнольд Э.** GAS! Страницы истории добычи угольного метана в бассейне Сан-Хуан / пер. с англ. — М.: CBM Partners Corporation, 2008. — 208 с.]
4. **Kurlenya M. V. and Serdyukov S. V.** Methane desorption and migration in a thermodynamically nonequilibrium coal mass, *Journal of Mining Science*, 2010, no. 1, pp. 61–68 (in Russian) [**Курленя М. В., Сердюков С. В.** Десорбция и миграция метана в термодинамически неравновесном угольном массиве // *ФТПРПИ*. — 2010. — № 1. — С. 61–68.]
5. **Klishin V. I., Opruk G. Yu., and Tatsienko A. L.** The use of interval hydraulic fracturing of a coal seam to intensify reservoir degassing / High technology development and use of mineral resources, 2016, no. 3, pp. 33–39 (in Russian) [**Клишин В. И., Опрук Г. Ю., Тащиенко А. Л.** Применение поинтервального гидроразрыва угольного пласта для интенсификации пластовой дегазации // *Научные разработки и использование минеральных ресурсов*. — 2016. — № 3. — С. 33–39.]
6. **Klishin V. I., Kokoulin D. I., Kubanychbek B., and Durnin M. K.** Softening of a coal seam as a method of intensifying methane emission, *Coal*, 2010, no. 4 (1008), pp. 40–42 (in Russian) [**Клишин В. И., Кокоулин Д. И., Кубанычбек Б., Дурнин М. К.** Разупрочнение угольного пласта в качестве метода интенсификации выделения метана // *Уголь*. — 2010. — № 4 (1008). — С. 40–42.]
7. **Yutyaev E. P., Sadov A. P., Meshkov A. A., Hautiev A. M.-B., Taylakov O. V., and Utkaev E. A.** Assessment of the filtration properties of coal in hydrodynamic tests of degassing formation wells, *Coal*, 2017, no. 11, pp. 24–29 (in Russian) [**Ютяев Е. П., Садов А. П., Мешков А. А., Хаутиев А. М.-Б., Тайлаков О. В., Уткаев Е. А.** Оценка фильтрационных свойств угля в гидродинамических испытаниях дегазационных пластовых скважин // *Уголь*. — 2017. — № 11. — С. 24–29.]
8. **Tailakov O. V., Utkayev E. A., and Smyslov A. I.** Monitoring of the parameters of hydrodynamic effects on a coal seam in a mine environment, *Science and Technology in the Gas Industry*, 2018, no. 1 (73), pp. 88–90 (in Russian) [**Тайлаков О. В., Уткаев Е. А., Смыслов А. И.** Мониторинг параметров гидродинамического воздействия на угольный пласт в шахтных условиях // *Наука и техника в газовой промышленности*. — 2018. — № 1 (73). — С. 88–90.]
9. **Slastunov S. V. and Ermak G. P.** The rationale for the choice and the effective implementation of degassing methods during intensive mining of gas-bearing coal seams is a key issue in ensuring methane safety of coal mines, *Coal*, 2013, no. 1, pp. 21–24 (in Russian) [**Сластунов С. В., Ермак Г. П.** Обоснование выбора и эффективная реализация способов дегазации при интенсивной отработке газоносных угольных пластов — ключевой вопрос обеспечения метанобезопасности угольных шахт // *Уголь*. — 2013. — № 1. — С. 21–24.]
10. **Buzinov S. N. and Umrikhin I. D.** Hydrodynamic research methods for wells and reservoirs, Moscow, Nedra, 1973, 248 pp. (in Russian) [**Бузинов С. Н., Умрихин И. Д.** Гидродинамические методы исследования скважин и пластов. — М.: Недра, 1973. — 248 с.]