



**ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ
ДЛЯ ПОИНТЕРВАЛЬНОГО ГИДРОРАЗРЫВА УГОЛЬНОГО ПЛАСТА**

Г. А. Ефентьев, Ю. И. Николаев

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

Исследованы условия, которые необходимо учитывать при разработке оборудования для поинтервального гидроразрыва угольного пласта. Установлена целесообразность обеспечения пакера специальной конструкцией в виде профилированной лопатки для прохождения заштыбованных участков скважины. Показано, что результатом применения экспериментального оборудования стало увеличение дебета метана из скважины в 2.5 раза.

Стенд, шпур, штыб, пакер, “расштыбовщик”, гидроразрыв

**LABORATORY STUDIES OF EXPERIMENTAL EQUIPMENT
FOR INTERVAL HYDRAULIC FRACTURING OF A COAL SEAM**

G. A. Efentyev and Yu. I. Nikolaev

*Chinakal Institute of Mining, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences,
E-mail: ega-igd@mail.ru, Krasny pr. 54, Novosibirsk 630091, Russia*

The conditions that must be taken into account when developing equipment for interval fracturing of a coal seam are investigated. The expediency of providing the packer with a profiled blade for passing clogged well sections is determined. The use of experimental equipment increased the methane yield from the well by a factor of 2.5.

Bench, borehole, coal culm, packer, “gummer”, hydraulic fracturing

Повышение эффективности добычи угля обуславливает увеличение концентрации горных работ и темпов отработки угольных пластов, рост глубины залегания которых ведет к увеличению их газоносности. Эти обстоятельства выдвигают особые требования к ускорению предварительной дегазации пластов.

Традиционные технологии дегазации неразгруженного угольного пласта [1, 2] предусматривают длительные сроки ее осуществления, неприемлемые по темпам ведения горных работ [3]. При высокой метаноносности пластов требуемый по “Правилам безопасности в угольных шахтах” уровень дегазации нереализуем без применения методов повышения продуктивности дегазационных скважин.

Основные способы интенсификации притока газа к скважинам — гидровоздействие из скважины с дневной поверхности или гидроразрыв пласта из горных выработок [4]. С появлением станков направленного бурения и подземных станков глубокого бурения прогрессивным направлением стал поинтервальный гидроразрыв пласта [5]. Узловое устройство метода — пакер различных конструкций [6]. Проведение поинтервального гидроразрыва сопряжено с решением технологически сложного вопроса доставки и извлечения этого устройства [7]. Отсутствие практических наработок в этой области препятствует применению перспективной технологии.

Опыт работ по гидроразрыву угольного массива, полученный сотрудниками ИГД СО РАН в условиях шахты им. С. Д. Тихова, подтвердил возможность создания комплекса оборудования для поинтервального гидроразрыва из дегазационных скважин. Работы велись на стенде, имитирующем угольный пласт № 23 шахты им. С. Д. Тихова. Цель — получение данных о содержании продуктов бурения в полости шпуров и оценка устойчивости их стенок. Для этого прямым ходом выбуривались шпуры, обратным ходом с вращением буровой инструмент извлекался из шпура, из полости шпуров вынимались остатки продуктов бурения и определялись объемы полости шпуров и остатков продуктов бурения. Шпуры диаметром от 12 до 55 мм бурились под углом $-10 \div +10^\circ$ к горизонту в восходящем и нисходящем направлении.

Установлено, что буровая мелочь в виде дисперсного штыба занимает от 30 до 50 % объема скважины на всем ее протяжении. Стенки после выбуривания скважины имеют выкрашивания, увеличивая ее в диаметре до 5 % от первоначального. Длительное (несколько суток) пребывание угольного образца на воздухе снижает его прочность до саморазрушения на мелкую кусковатость (20×30 мм). Для перемещения пакера по скважине необходимо специальная конструкция (“расштыбовщик”), позволяющая проходить заштыбованные участки.

Стендовые испытания экспериментальных конструкций “расштыбовщиков”. Испытаниям подверглись четыре конструкции, две из которых успешно прошедшие начальные испытания (рис. 2), были изготовлены в виде макетов в натуральную величину и дополнительно проверены на работоспособность в трубе, имитирующей скважину с внутренним диаметром 85 мм и длиной 2 м. Ее внутренняя полость до начала испытаний заполнялась штыбом на 50–100 % своего объема.

Макетные образцы “расштыбовщиков” размещались в головной части образца пакера. Последний имел цилиндрическую форму, соответствующую по геометрическим размерам пакеру диаметром 70 мм и длиной 670 мм. К задней части пакера крепился приводной стержень, свободный конец которого соединялся с электродрелью. Образец одного из “расштыбовщиков” выполнен в виде профилированной лопатки (рис. 1а), другого — в виде пружины (рис. 1б).



Рис. 1. Макетные образцы “расштыбовщиков”

Стендовые испытания показали, что на головной части конструкции пакерного устройства рационально устанавливать “расштыбовщик” в виде профилированной лопатки. Перемещение конструкции в зоне спрессованного штыба (пробки) сопряжено с сопротивлением перемещению и падением скорости в четыре и более раз.

Лабораторные испытания экспериментальных конструкций пакеров. Для проведения поинтервальных гидроразрывов выбрана конструкция уравновешенного пакера. Испытаны два типа: пакер с гидравлическим механизмом сжатия и надувной пакер. Первый представляет собой корпус с опорными кольцами на концах, на котором установлен узел герметизации в виде двух подвижных полиуретановых втулок с гидравлическим цилиндром между ними (рис. 2). Внутри корпуса расположен клапанный узел. Герметизирующими элементами конструкции служат полиуретановые втулки. Под действием осевого сжатия со стороны гидравлического цилиндра они увеличиваются в диаметре и обеспечивают герметизацию участка скважины для гидроразрыва.

Надувной пакер (рис. 3) состоит из корпуса с клапанным узлом, двух опорных колец и расположенного между ними узла герметизации в виде двух подвижных полиуретановых втулок с возможностью подавать в их внутренние полости рабочую жидкость. Расширением полиуре-

тановых втулок под действием подаваемой в них жидкости происходит герметизация полости скважины между втулками, после чего в эту полость подается рабочая жидкость под давлением, необходимым для гидроразрыва.

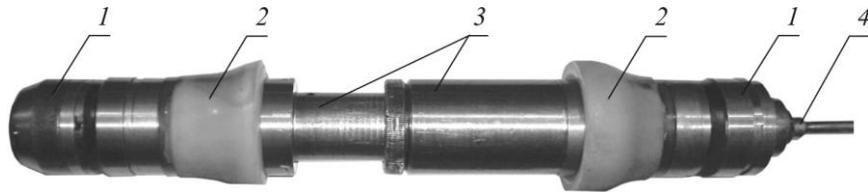


Рис. 2. Общий вид пакера с гидравлическим механизмом сжатия: 1 — корпус; 2 — полиуретановая полуvtулка; 3 — гидравлический цилиндр; 4 — штуцер

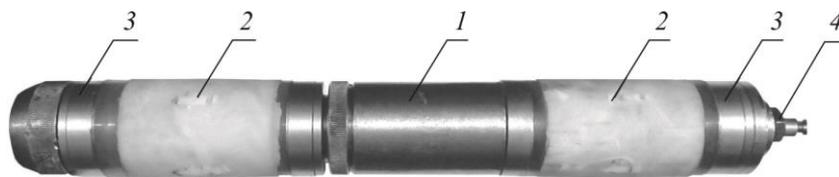


Рис. 3. Общий вид надувного пакера: 1 — корпус; 2 — полиуретановая полуvtулка; 3 — опорное кольцо; 4 — штуцер

Испытание каждого пакера проводилось в трех трубах с внутренними диаметрами 78, 85 и 90 мм. Общий вид экспериментальной установки показан на рис. 4.

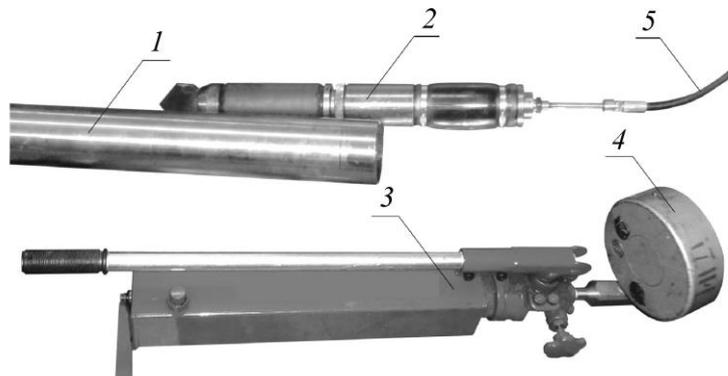


Рис. 4. Общий вид экспериментального оборудования для испытания пакеров: 1 — труба; 2 — пакер; 3 — ручная маслостанция; 4 — манометр; 5 — соединительный рукав

Лабораторными испытаниями установлено, что конструкция пакера с гидравлическим механизмом сжатия обеспечивает герметизацию скважин, диаметр которых до 14 % превышает начальный диаметр пакера при давлении рабочей жидкости в загерметизированной полости для гидроразрыва не менее 13 МПа. Конструкция надувного пакера не обеспечивает герметизацию полости для гидроразрыва.

ВЫВОДЫ

Анализ проведенных лабораторных и шахтных испытаний показал, что для поинтервального гидроразрыва угольного массива рационально использовать конструкцию уравновешенного пакера с гидравлическим механизмом сжатия герметизирующих элементов, на головной части которой установлен “расштыбовщик” в виде профилированной лопатки. Хвостовую часть конструкции целесообразно обеспечить элементом для очистки рабочей жидкости перед ее входом в клапанный узел пакера. Доставку оборудования для поинтервального гидроразрыва необходимо осуществлять непосредственно после промывки скважины.

С учетом результатов исследований разработан и изготовлен экспериментальный образец оборудования. С его применением в январе 2019 г. на шахте им. Тихова выполнена серия поинтервальных гидроразрывов из дегазационной скважины, выбуренной из конвейерного штрека 23-1-3. Результатом гидроразрывов стало увеличение дебета метана из экспериментальной скважины в 2.5 раза.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERECES

1. **Zykov V. S., Avramenko S. M., and Kulinich V. A.** Modern State of degassing in the mines of Kuzbass, Safety of coal enterprises: sat. researcher. tr. VostNII, Kemerovo, 2000, pp. 3–8 [**Зыков В. С., Авраменко С. М., Кулинич В. А.** Современное состояние дегазации на шахтах Кузбасса // Безопасность угольных предприятий: сб. науч. тр. ВостНИИ. — Кемерово, 2000. — С. 3–8.]
2. **Remezov A. V., Kharitonov V. G., Zharov A. I., Zhmurovskij D. I., Torró V. O., and Ryabkov N. V.** Gas degassing of coal seams and enclosing rocks in mines of Kuzbass. History. Validity. Future: monograph., Kemerovo, 2012, 848 pp. [**Ремезов А. В., Харитонов В. Г., Жаров А. И., Жмуровский Д. И., Торро В. О., Рябков Н. В.** Дегазация газа из угольных пластов и вмещающих пород на шахтах Кузбасса. История. Действительность. Будущее: монография. — Кемерово, 2012. — 848 с.]
3. **Polevshikov G. Y., Kozyrev E. N., Shynkevych M. V., and Brjuzgina O. V.** Foundations for effective development of methane-bearing coal deposits of Kuzbass, Vestnik KuzGTU, Kemerovo, 2011, no. 3, pp. 8–11 [**Полевщиков Г. Я., Козырева Е. Н., Шинкевич М. В., Брюзгина О. В.** [Основы эффективной разработки углеметановых месторождений Кузбасса // Вестник КузГТУ. — Кемерово, 2011. — № 3. — С. 8–11.]
4. **Instructions** for the degassing of coal mines, 05 series, Moscow, Close corporation Scientific and technical centre for studies on industrial safety, 2012, issue 22, 250 pp. [**Инструкция** по дегазации угольных шахт. Сер. 05. — М.: ЗАО “Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности”, 2012.— Вып. 22. — 250 с.]
5. **Lekoncev U. M. and Sazhin P. V.** The technology of directional hydraulic fracturing for managing hard-collapsing roofs in the working faces and degassing of coal seams, Journal of Mining Science, 2014, no. 5, pp. 137–142 [**Леконцев Ю. М., Сажин П. В.** Технология направленного гидроразрыва пород для управления трудно обрушающимися кровлями в очистных забоях и дегазации угольных пластов // ФТПРПИ. — 2014. — № 5. — С. 137–142.]
6. **Pat.** 2268359 RU. Balanced packer, Klishin V. I., Lekoncev Y. M., Sajin P. V., Publ. Byull. Izobret., 2006, no. 2 [**Пат.** 2268359 РФ. Уравновешенный пакер / В. И. Клишин, Ю. М. Леконцев, П. В. Сажин // Опубл. в БИ. — 2006. — № 2.]
7. **Slastunov S. V., Mazanik E. V., Sadov A. P., and Ponizov A. V.** Deepening reservoir of degassing on basis of advanced technologies of underground fracturing, Mining Information Analytical Bulletin, 2016, no. 9, pp. 296–302 [**Сластунов С. В., Мазанник Е. В., Садов А. П., Понизов А. В.** Углубление пластовой дегазации на основе усовершенствованной технологии подземного гидроразрыва // ГИАБ. — 2016. — № 9. — С. 296–302.]