

Ю. М. Леконцев¹, П. В. Сажин¹✉

Область применения технологии гидроразрыва при отработке пологих угольных пластов и ее особенности

¹Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт горного дела
им. Н. А. Чинакала Сибирского отделения Российской академии наук,
г. Новосибирск, Российская Федерация
e-mail: pavel301080@mail.ru

Аннотация. Данная статья посвящена обзору технологии направленного гидроразрыва и ее модификаций при реализации на пологих угольных пластах Кузбасса, представлены критерии, по которым они разделяются и способы их осуществления, кроме того освещен механизм воздействия на горный массив этих способов. Изложена последовательность реализации данной технологии, показаны особенности выбора того или иного варианта, в зависимости от решаемой задачи, а также горно-геологических особенностей угольного пласта и вмещающих пород, выбор состава оборудования и его комплектность. Представлен накопленный опыт проведения работ по внедрению технологии гидроразрыва на угольных шахтах с различными условиями и решаемыми задачами. Определены перспективные направления возможного развития данных способов.

Ключевые слова: направленный гидроразрыв, поинтервальный гидроразрыв, дегазация, скважина, инициирующая щель

Yu. M. Lekontsev¹, P. V. Sazhin¹✉

The field of application of hydraulic fracturing technology in the development of shallow coal seams and its features

¹Federal State Budgetary Institution of Science N.A. Chinakal Institute of Mining, Siberian Branch
of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russian Federation
e-mail: pavel301080@mail.ru

Annotation. This article is devoted to an overview of the technology of directional hydraulic fracturing and its modifications when implemented in shallow coal seams of Kuzbass, the criteria by which they are divided and the methods of their implementation are presented, in addition, the mechanism of impact on the mountain range of these methods is highlighted. The sequence of implementation of this technology is described, the features of choosing one or another option are shown, depending on the problem being solved, as well as the mining and geological features of the coal seam and host rocks, the choice of equipment composition and its completeness. The accumulated experience of work on the implementation of hydraulic fracturing technology at an angle is presented promising directions for the possible development of these methods have been identified.

Keywords: directional hydraulic fracturing, intervertebral hydraulic fracturing, degassing, well, initiating gap

В настоящее время выделяется два основных направления в подземной добыче каменного угля в которых широкое распространение получила технология гидроразрыва и ее разновидности:

–направления, связанные с разупрочнением труднообрушающихся кровель, к которым относятся: выход/вход из/в монтажной/демонтажную камеры; снижение нагрузок на межлавные целики; оперативное разупрочнение кровли в зоне локальных нарушений и т. д.;

–дегазация пологих угольных пластов.

Необходимость этих работ вполне очевидна, она связана с повышением безопасности ведения очистных работ на пластах опасных по внезапному выбросу газа и склонных к динамическим проявлениям.

В соответствии с поставленной задачей выбирается и конкретная разновидность технологии гидроразрыва, для первой группы направлений, как правило применяется технология забойного (или одноуровневого гидроразрыва) с нарезанием инициирующей щели (ИЩ) или без нее (пример технологи с образованием ИЩ рис. 1) [1 – 6].

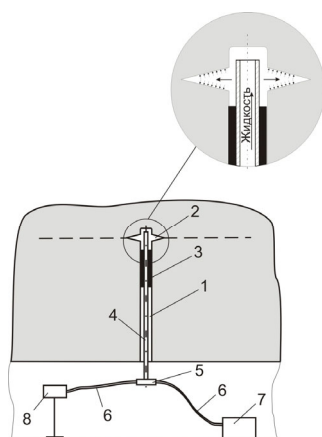


Рис. 1. – Технологическая схема расположения оборудования: 1 – скважина, 2 – инициирующая щель (ИЩ), 3 – герметизирующее устройство (пакер), 4 – высоконапорный трубопровод, 5 - распределительный узел, 6 – высоконапорные соединительные рукава, 7 – насосная установка, 8 – приборы контроля

При этом ИЩ – это по сути, концентратор напряжений, который позволяет программировать развитие искусственной трещины в заданном направлении. Это необходимо для решения практически всех задач из первого направления, пожалуй, за исключением тех случаев, когда необходимо только расслоить мощную тяжелую кровлю и снизить давление с ее стороны на горные выработки или отрабатываемый угольный пласт (например, на его забойную часть при выходе из монтажной камеры). В этом случае нет необходимости моделировать направление развития искусственной трещины, а достаточно осуществить только ее расслоение и обрушение.

Суть метода заключается в расчленении породного массива из пробуренных скважин 1 за счет создания из них протяженных искусственных трещин, наведенных гидроразрывами. Для этого в стенках пробуренных скважин прорезаются с помощью специальных инструментов (щелеобразователей) инициирующих

щелей 2 (ИЩ), являющиеся концентраторами напряжений. Затем, участок скважины 1, в которой расположена ИЩ 2, герметизируется пакером 3 и в нее подается под высоким давлением рабочая жидкость. Создается избыточное напряжение на “берегах” искусственной щели и, при превышении возникающего напряжения выше предела прочности породного массива, осуществляется ее раскрытие, образуются ориентированные заданным образом трещины. С механической точки зрения направленный гидроразрыв приводит к изменению прочностных свойств горного массива, прилегающего к скважине, происходит перераспределение опорного давления.

Для второго направления, в большинстве случаев, применяется технология поинтервального гидроразрыва (ПГР) с образованием инициирующей щели или без нее (пример применения поинтервального гидроразрыва рис. 2) [7 – 14].

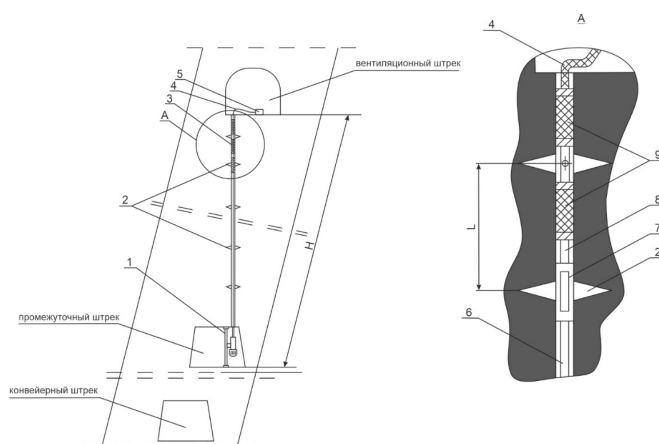


Рис. 2. – Схема проведения поинтервального гидроразрыва. 1 – буровой станок; 2 – инициирующие щели; 3 – пакер; 4 – гибкий трубопровод; 5 – насосная установка; 6 – жесткий трубопровод; 7 – щелеобразователь; 8 – соединительная муфта (вертлюг); 9 – уплотнительные элементы

На рис. 2 представлена схема реализации способа поинтервального гидроразрыва с целью разупрочнения угольного массива и образованием ИЩ, который реализуется следующим образом: станком 1 бурят сквозной шпур в отрабатываемом угольном массиве с нижней выработки на верхнюю. Затем производят монтаж комплекса оборудования, включающего: жесткий трубопровод 6, щелеобразователь 7, вертлюг 8, пакер 3. Через гибкий трубопровод 5 присоединяют пакер 3 к насосной установке 5, расположенной в верхней выработке. После этого с нижней выработки производят нарезание первой (верхней) инициирующей щели 2, при этом пакер 3 остается неподвижным благодаря вертлюгу 8, который обеспечивает автономное вращение щелеобразователя 7 в процессе резания. Таким образом, на стенках скважины создается необходимое количество ИЩ. Далее, под давлением, подают рабочую жидкость – происходит герметизация области шпура, в которой расположена инициирующая щель 2. При превышении уровня давления, на которое настроен пакер 3, происходит подача рабочей жидкости в

шпур и производится гидроразрыв и формирование трещины гидроразрыва. Одновременно с этим осуществляют нарезание иницирующей щели 2, при этом независимость операций обеспечивают за счет применения вертлюга 8. После этого давление рабочей жидкости сбрасывают, и уплотнительные элементы 9 принимают исходную форму. Таким образом обрабатывают всю скважину.

Также, как отмечалось выше технология поинтервального гидроразрыва активно внедряется с целью дегазации пологих угольных пластов. На рис. 3 представлена одна из разновидностей схем проведения таких работ.

Станком 1 бурят сквозную дегазационную скважину 2 (далее - скважина 2) в угольном пласте 3 с нижней выработки 4 на верхнюю выработку 5 (рис. 3а). Затем меняют буровую коронку 6 на герметизирующее устройство 7 (рис. 3б), а буровой став 8 через гибкий трубопровод 9 присоединяют к насосной установке 10. После этого буровой став 8 перемещают вниз на шаг L (рис. 3б) и от насосной установки 10 через гибкий трубопровод 9 в герметизирующее устройство 7 под давлением подают рабочую жидкость – происходит герметизация области скважины 2, находящейся между уплотнительными элементами герметизирующего устройства 7. При превышении уровня давления, на которое настроено герметизирующее устройство 7, происходит подача рабочей жидкости в загерметизированную область скважины 2 и производят гидроразрыв угольного пласта 3. Затем давление рабочей жидкости сбрасывают, и уплотнительные элементы принимают исходную форму. Весь комплекс снова перемещают вниз на шаг L и вновь производят гидроразрыв. Таким образом обрабатывают всю скважину 2. После этого нижнюю часть скважины 2 герметизируют пакером 11 (рис. 3а), а верхнюю присоединяют к магистральному газоводу 12 и производят откачку газа из скважины 2. Аналогично производят дегазацию угольного пласта из следующих скважин 2.

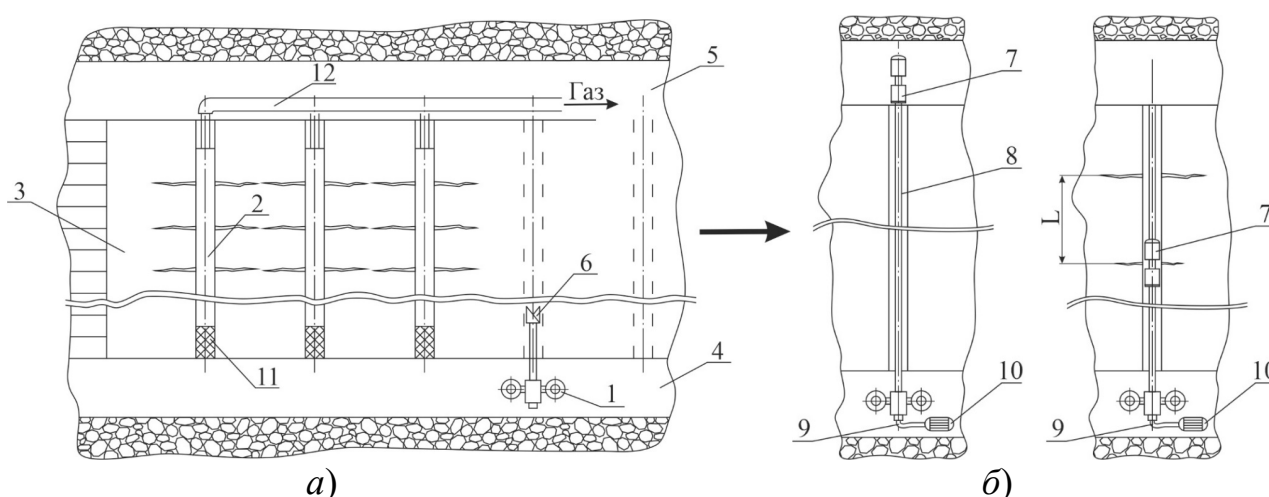


Рис. 3. – Схема проведения поинтервальных гидроразрывов без ИЩ при проведении дегазации угольных пластов: а – схема заложения скважин; б – схема бурения скважин гидроразрыва и проведения поинтервальных гидроразрывов

При этом с целью дегазации пологих угольных пластов нарезание инициирующих щелей, как правило, не производится, так как нет необходимости в ориентированности искусственной трещиноватости, она не влияет на основной эффект от этих работ – повышение газоотдачи.

Все представленные разновидности метода направленного гидроразрыва были реализованы в шахтных условиях сотрудниками Института горного дела им. Н.А. Чинакала (ИГД СО РАН) в период, начиная с 2002 года. В таблице 1 представлены некоторые шахты на которых реализовывалась та или иная разновидность технологии гидроразрыва и достигнутый эффект.

Таблица 1

Область применения технологии гидроразрыва

<i>Наименование организации</i>	<i>Место проведения работ</i>	<i>Цель работ</i>	<i>Достигнутый эффект</i>
1	2	3	4
ОАО “шахта Березовская”	лава № 79 пласта XXI	снижение нагрузок на охранный угольный целик	снижение нагрузки на охранный целик (в среднем на 35% по замерам ЦАК), позволило уменьшить ширину целика с 25 до 5 метров
	лава № 16 пласта XXVII	снижение нагрузок на секции крепи при входе в демонтажную камеру	демонтаж секций прошел без аварий в плановые сроки, обрушений кровли не зафиксировано
ОАО “шахта Первомайская”	лава № 63 пласта XXVII	снижение нагрузок на секции механизированной крепи при выходе комплекса из монтажной камеры, снижение шага первичной посадки кровли	шаг первичной посадки кровли составил порядка 20 – 30 м.
	лава № 33 пласта XXVII	оперативное разупрочнение кровли с целью повышения безопасности прохождения аварийного участка	после проведения мероприятий по разупрочнению кровли методом НГР аварийных ситуаций в лаве не возникало
ОАО “шахта им. С.М. Кирова”	лава № 2592 пласта Поленовский	снижение нагрузок на секции механизированной крепи при выходе комплекса из монтажной камеры, снижение шага первичной посадки кровли	шаг первичной посадки кровли составил порядка 20 – 30 м.

Окончание табл. 1

ОАО “шахта им. 7Ноября”	Лава №1324 пласта Байкаимский	снижение нагрузок на секции крепи при входе в демонтак-ную камеру	Комплекс полно-стью демонтирован. Аварий не зафиксиро-вано
ОАО “шахта Рома-новская”	Лава № 2 пласта Аб-рамовский	Разупрочнение по-родного прослойка	Прочность про-слойка снизилась, примерно, в 2 раза, что позволило повы-сить скорость отра-ботки в 1,4 раза
ОАО “МУК – 96”	Лава № 5–15–22, пласт 15	снижение нагрузок на секции механизированной крепи при выходе комплекса из монтажной камеры, снижение шага первичной посадки кровли	шаг первичной по-садки кровли умень-шился с 40 – 50 мет-ров (исходя из опыта отработки вышеле-жащей лавы) до 15 – 20 м.
ОАО “Распадская – Коксовая”	Лава № 0–4–4бис, пласт IV–V	снижение нагрузок на секции механизированной крепи при выходе комплекса из монтажной камеры	посадка кровли про-изошла после 6 пере-движек крепи без динамических явле-ний
ОАО “шахта Абашевская”	Лава № 16–17, пласт 16	оперативное разупрочнение кровли с целью повышения безопасности про-хождения горно-гео-логического наруше-ния.	Горно-геологическое нарушение было пройдено без ава-рийных остановок комплекса
ООО “Шахта им. С.Д. Тихова”		Дегазация пологого угольного пласта	Повышена газоот-дача дегазационных скважин до 30%

Исследования, проведенные в шахтных условиях, подтвердили высокую эффективность способа гидроразрыва и ее модификаций.

Накопленный опыт практических испытаний технологии гидроразрыва и ее модификаций показал, что дальнейшее развитие данной технологии связано с разработкой нового оборудования, позволяющего совместить часть операций, например, бурение и нарезание ИЩ и значительно повысить эффективность способа.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Клишин В.И. Адаптация механизированных крепей к условиям динамического нагружения // Новосибирск. – “Наука”. – 2002. – 199 с.
2. Клишин В.И., Леконцев Ю.М., Сажин П.В. Экспериментальные исследования перераспределения опорного давления в лаве при принудительной посадке кровли // Горный информационно – аналитический бюллетень. – Москва: МГТУ. – 2006. – № 3. – С. 339 – 347.
3. Клишин В.И., Леконцев Ю.М., Сажин П.В. Безвзрывные технологии разрушения прочных горных пород растягивающими усилиями // «Фундаментальные проблемы формиро-

вания техногенной геосреды. Том I. Геотехнологии» Сборник трудов. – Новосибирск, 2007. – с. 269 – 277.

4. Никольский А.М. Обоснование технологии управления труднообрушаемой кровлей направленным гидроразрывом при подходе лавы к демонтажной камере / Диссерт. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук // Новосибирск. – 2010. – 144 с.

5. Клишин В.И., Опрук Г.Ю., Черепов А.А. Комплексный метод снижения удароопасности на угольных шахтах // Уголь. – 2018. – №9. – с. 57 – 62.

6. Леконцев Ю.М., Сажин П.В. Проблемы управления труднообрушающимися кровлями при отработке пологих угольных пластов // Интерэкспо Гео – Сибирь. – 2019. – Т.2. – №4. – с. 162 – 169.

7. Патент РФ №2756594. Способ дегазации угольного пласта / Леконцев Ю.М., Сажин П.В., Новик А.В. // Опубл. 01.10.2021.

8. Леконцев Ю.М., Сажин П.В., Темиряева О.А. Дегазация угольного пласта методом поинтервального гидроразрыва и оборудования для его реализации // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. – 2018. – Т.5. – №2. – с. 89 – 92.

9. Клишин В.И., Опрук Г.Ю., Связев С.И. Прирост капируемого метана при предварительной дегазации угольного пласта методом поинтервального гидроразрыва // Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов. – 2024. – №10. – с. 13 – 19.

10. Клишин В.И., Опрук Г.Ю., Тациенко А.Л. Применение поинтервального гидроразрыва для интенсификации пластовой дегазации // Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов. – 2016. – с. 33 – 39.

11. Разумов Е.А. Программа и методика проведения исследований дегазации угольного пласта с применением подземного гидроразрыва в условиях шахты “Чертинская – Коксовая” // Техника и технология горного дела. – 2020. – №1(8). – с. 32 – 44.

12. Сластунов С.В., Ютяев Е.П., Мазаник Е.В., Садов А.П. Разработка и совершенствование технологий пластовой дегазации для эффективной и безопасной отработки угольных пластов // Горный информационно – аналитический бюллетень. – 2018. – №11. – с. 13 – 22.

13. Коршунов Г.И., Серегин А.С., Садов А.П., Комиссаров И.А. Дегазация угольных пластов на основе циклического гидродинамического воздействия // Горный информационно – аналитический бюллетень, отдельный выпуск №3 (“Промышленная безопасность”). – 2014. – с. 29 – 35.

14. Сластунов С.В., Ютяев Е.П., Мазаник Е.В., Садов А.П., Понизов А.В. Шахтные испытания усовершенствованной технологии подземной пластовой дегазации с использованием гидроразрыва // Уголь. – 2016. – №11. – с. 32 – 37.

© Ю. М. Леконцев, П. В. Сажин, 2025