



DOI: 10.25558/VOSTNII.2023.87.51.003

УДК 622.245; 539.3

© В. И. Клишин, Г. Ю. Опрук, С. И. Связев, 2023

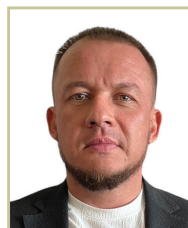
В. И. КЛИШИН

член-корр. РАН,
директор
Института угля ФИЦ УУХ СО РАН, г. Кемерово
e-mail: klishinvi@ic.sbras.ru



Г. Ю. ОПРУК

канд. техн. наук,
заведующий лабораторией
Института угля ФИЦ УУХ СО РАН, г. Кемерово
e-mail: opruk@yandex.ru



С. И. СВЯЗЕВ

старший инженер лаборатории
Института угля ФИЦ УУХ СО РАН, г. Кемерово
e-mail: s.svyazev@yandex.ru

СТЕНДОВЫЕ И ОПЫТНО–ПРОМЫШЛЕННЫЕ ИСПЫТАНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ПРОЦЕССА ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА УГОЛЬНЫЙ ПЛАСТ

Выполнен анализ известных методов дегазации и интенсификации процесса. Предложен новый метод поинтервального гидроразрыва угольного пласта из необсаженных скважин и средства его реализации. Рассмотрена технологическая схема поинтервального гидроразрыва угольного пласта из подземных горных выработок через необсаженные дегазационные скважины. Показаны средства его реализации в виде двухстороннего пакера с клапаном, установленным между ними. Приведены результаты лабораторных и шахтных испытаний метода и устройств поинтервального гидроразрыва угольного пласта.

Ключевые слова: ДЕГАЗАЦИЯ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ, ПОИНТЕРВАЛЬНЫЙ ГИДРОРАЗРЫВ, УСТРОЙСТВА ГИДРОРАЗРЫВА, СТЕНДОВЫЕ И ШАХТНЫЕ ИСПЫТАНИЯ.

ВВЕДЕНИЕ

С каждым годом с увеличением глубины ведения горных работ по угольным пластам возрастает и количество выемочных участков с подготовительными выработками, осуществляющих горные работы в зонах опасных по газу. Для обеспечения безопасности ведения очистных работ в таких условиях разрабатываются мероприятия по дегазации

неразгруженных угольных пластов как с поверхности, так и из подземных горных выработок. По мере роста объемов добычи угля роль дегазации угля на стадии подготовительных работ возрастает и постепенно становится доминирующей. Дальнейшее повышение эффективности, технической и экологической безопасности подземной разработки высокогазоносных угольных месторождений

неразрывно связано с разработкой комплекса специальных средств стимулирования газоотдачи неразгруженных угольных пластов [1–10].

Обладая высокой метанообильностью и высокоразвитой внутренней поверхностью пор, угольный пласт имеет низкую проницаемость. При этом газ в угле до 95% находится в сорбированном состоянии. При высокой пористости угли обладают низкой проницаемостью — способностью пропускать через себя газы, поры закрыты для проницаемости и выделения газа. Из-за особенностей осадконакопления — кливажа — вертикальная проницаемость в пласте обычно отличается от горизонтальной, которая, в свою очередь, зависит от трещиноватости пласта. Поэтому чувствительность угольного пласта на образование новых трещин резко отличается от характеристик нефтяных и газовых месторождений. При этом газ–метан является низконапорным, и в условиях неразгруженных угольных пластах его газопроницаемость снижается при увеличении горного давления, вызванного движением очистного забоя, когда все трещины, включая кливажные, пережимаются. Поэтому проводить аналогичную с добычей природного газа или нефти с применением гидроразрыва горного массива с целью интенсификации процессов дегазации угольного пласта с извлечением метана в угленосной толще некорректно. На нефтяных и газовых месторождениях имеется сформированный природный проницаемый коллектор, а гидроразрыв применяется для увеличения раскрытия уже имеющихся трещин или увеличения активной пористой площади фильтрации.

Разработка методов заблаговременной дегазации, интенсификации процесса дегазации и газоотдачи угольных пластов основывалась на положительных результатах применения гидравлического воздействия на нефтяные залежи с земной поверхности. В основу были положены результаты практических исследований проектирования, разведки, сбора, транспортирования и утилизации угольного метана в ряде стран мира:

США, Австралии, Японии, Китая, Украины, Казахстана [9].

В процессе дегазации ключевую роль играет техногенное воздействие на углепородный массив с целью развития в нём трещиноватости, что способствует выходу из угольного вещества связанного метана. Наиболее распространенным методом является бурение дегазационных скважин в угольный пласт с последующим продольным вертикальным или горизонтальным гидроразрывом относительно оси скважин. Для получения направленного распространения трещин гидроразрыва появились предложения по технологии и оборудованию многоинтервального (поинтервального) гидроразрыва. Обобщение работ по современным технологиям гидроразрыва пласта, индивидуальный подход к проектированию гидроразрыва пласта и анализ проектов по извлечению метана угольных пластов изложены в работах [11–13] специалистами из Кувейта, Саудовской Аравии, США, Республики Конго, Канады и Малайзии.

Для интенсификации процессов дегазации из подготовительных выработок через дегазационные скважины большинство технических решений направлено на создание дополнительных площадей обнажения за счет создания трещин разрыва вдоль скважины по слоистости или вкрест простирания, а также создания трещин поперек скважин. Последнее позволяет увеличить количество создаваемых трещин и, главное, исключает их выход на поверхность подготовительной выработки, из которой производят разрывы, что опасно с точки зрения возможного подсоса воздуха и взрыва метана. В связи с этим перспективным способом интенсификации дегазации угольного пласта является метод поинтервального гидроразрыва (ПГР) из необсаженных дегазационных скважин, пробуренных в угольный пласт из подземных горных выработок параллельно очистному забою для создания трещин поперечных относительно оси скважины. Увеличение проницаемости пласта достигается за счет образования многократных искусственных трещин и раскрытия

естественных трещин, развивающихся в направлении движения очистного забоя с последующим их раскрытием в зоне повышенного опорного давления [14–16].

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СХЕМЫ РЕАЛИЗАЦИИ ПОИНТЕРВАЛЬНОГО ГИДРОРАЗРЫВА УГОЛЬНОГО ПЛАСТА

На начальном этапе происходит ввод сдвоенного пакера в скважину (рис. 1а) с последующей ее герметизацией за счет увеличения диаметра пакерных рукавов (уплотнений) при подаче в них рабочей жидкости. При дальнейшем повышении давления происходит срабатывание клапана, установленного между двумя пакерами, что приводит к образованию одной или нескольких трещин гидроразрыва. На последнем этапе происходит разгерметизация скважины и перемещение сдвоенного пакера. Аналогичным образом метод ПГР реализуется в подготовительном забое через передовую или барьерные скважины (рис. 1б).

После разрыва под воздействием давления жидкости трещина увеличивается, возникает ее связь с системой естественных трещин, не вскрытых скважиной, и с зонами повышенной проницаемости, расширяя область пласта, дренируемого скважиной. В результате ПГР пластакратно повышается проницаемость и дебит добывающих скважин за счет снижения гидравлических сопротивлений в призабойной зоне и увеличения фильтрационной поверхности скважины, увеличивается конечная газоотдача за счет приобщения к выработке слабо дренируемых зон и пропластков. (рис. 2).

Распор пакеров сжимает горизонтальные трещины и исключает разрыв пласта по этим трещинам на более удаленное расстояние, где вертикальные трещины пересекают горизонтальные и в них под давлением проникает жидкость, раскрывая существующие трещины. В случае реализации ПГР пласта вкрест скважины, пробуренной параллельно

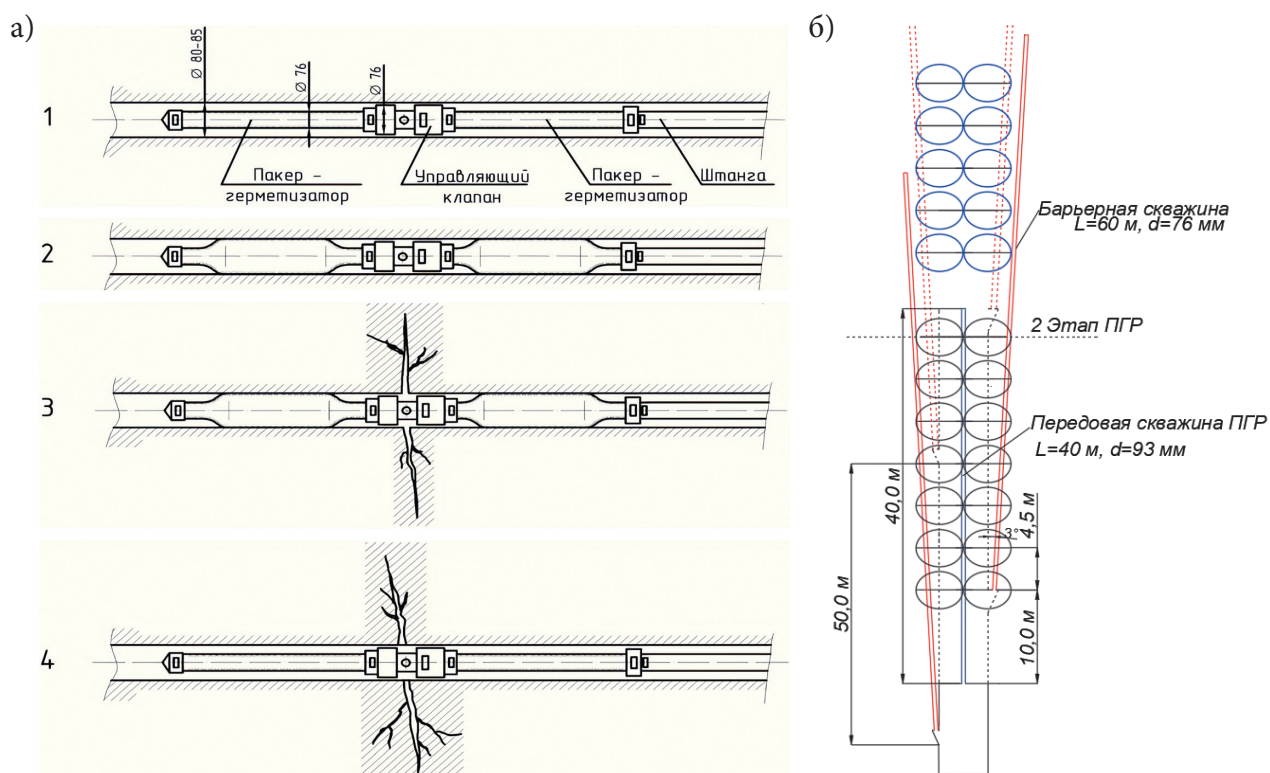


Рис. 1. Технологическая схема реализации поинтервального гидроразрыва угольного пласта (а): ввод пакера в скважину (1); герметизация скважины (2); гидроразрыв угольного массива (3); разгерметизация скважины и перемещение пакера (4); технологическая схема реализации метода ПГР в подготовительном забое через барьерные скважины на передовую скважину (б)

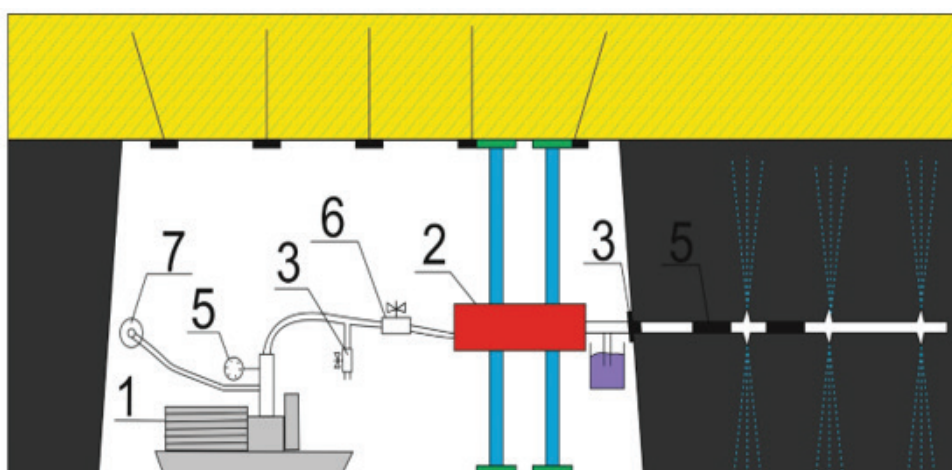


Рис. 2. Технологическая схема ПГР: 1 — насос, 2 — буровой станок; 3 — уплотнитель устья, 4 — разрывное устройство; 5 — манометр, 6 — вентиль высоконапорный, 7 — противопожарный трубопровод

очистному забою, при его приближении происходит дальнейшее раскрытие искусственно созданных трещин для выхода оставшегося метана. Новые образованные вертикальные трещины под действием горного давления не схлопываются, а развиваются (сохраняются). Поинтервальный гидроразрыв обеспечивает увеличение трещиноватости и газопроницаемости угольного пласта, а дальнейшее использование непосредственно энергии горного давления сохраняет их раскрытое состояние. Во время операции гидроразрыва пласта создаваемая трещина распространяется по пути наименьшего сопротивления перпендикулярно направлению действия минимального главного напряжения.

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ПОИНТЕРВАЛЬНОГО ГИДРОРАЗРЫВА УГОЛЬНОГО ПЛАСТА

Для реализации ПГР предложено и разработано разрывное устройство (двухсторонний пакер) (рис. 3), включающее два упруго расширяющихся рукава 1 и 2, диаметром 76 мм, между которыми установлен распределитель давления 3, предназначенный для регулирования давления рабочей жидкости в гидросистеме разрывного устройства. Распределитель давления служит для своевременного пакерования скважины в зоне между упруго расширяющимися рукавами

и дальнейшего повышения давления в этой зоне до величины достаточной для гидроразрыва угольного массива.

Австралийскими учеными [17] в лабораторных условиях также показано, что условие создания продольной или поперечной трещин зависит от размеров изолированной полости (L) между пакерами и диаметром скважины (d): причем установлено, что при размере изолированной полости менее двух метров образуется единичная поперечная трещина; при $2d < L < 4d$ образуются множественные трещины различного типа; при $L > 4d$ образуется единичная продольная трещина. Нами разработаны два типа клапанных устройств — золотникового и клапанного типа, что позволило варьировать размерами изолированной полости (рис. 3, 4).

СТЕНДОВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ УСТРОЙСТВ ГИДРОРАЗРЫВА УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ

Для оценки воздействия и технологии работы разрывного устройства подготовлен стенд (рис. 5), предназначенный для исследований устройств разрыва угольного пласта, устройств разрыва кровли в скважинах разного размера.

Стенд может использоваться для проведения гидравлических испытаний статическим и динамическим давлением; испытаний

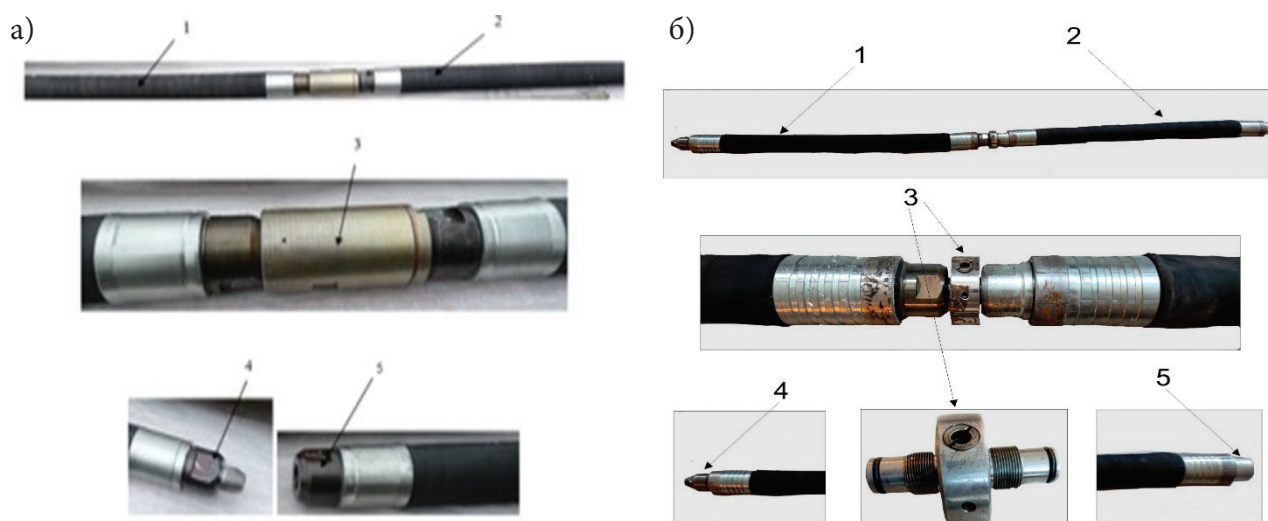


Рис. 3. Разрывное устройство золотникового типа (а): 1, 2 — упруго расширяющиеся рукава, 3 — межпакерный клапан, 4 — наконечник запорный, 5 — муфта присоединительная; разрывное устройство клапанного типа (б): 1, 2 — упруго расширяющиеся рукава, 3 — межпакерный клапан, 4 — наконечник запорный, 5 — муфта присоединительная.



Рис. 4. Сравнительные габариты устройств гидроразрыва угольного пласта золотникового и клапанного типа.

герметизирующих устройств запорной арматуры на герметичность и прочность корпуса; испытаний клапанов разрыва на максимальное давление срабатывания; испытаний рукавов высокого давления и герметизирующих устройств (пакеров) на герметичность обжимки наконечников; испытаний герметизирующих устройств на максимально допустимое давление; испытания на максимальное раскрытие герметизирующих устройств; испытания циклов раскрытия герметизирующих устройств.

Стенд оборудован системой автоматического заполнения испытуемого изделия, системой опорожнения рабочей жидкости. Также стенд оборудован системой индикации открывания (закрывания) клапанов разрыва.

Максимальное давление гидравлической станции не менее 20 МПа, производительность 100 л/мин с плавной регулировкой давления и двумя контурами подачи жидкости. Электродвигатель станции должен обладать достаточной мощностью для обеспечения заявленных гидравлических характеристик. Предпочтительна станция с шестеренчатыми насосами. Объем гидробака станции не менее 150 л должен быть оснащен визуальным уровнемером жидкости и термометром для контроля температуры жидкости. Бак станции оснащается заливной горловиной с фильтром грубой очистки и сливным отверстием диаметром не менее 1/2 дюйма с вентилем. Контур подачи жидкости обязательно оснащаются предохранительными

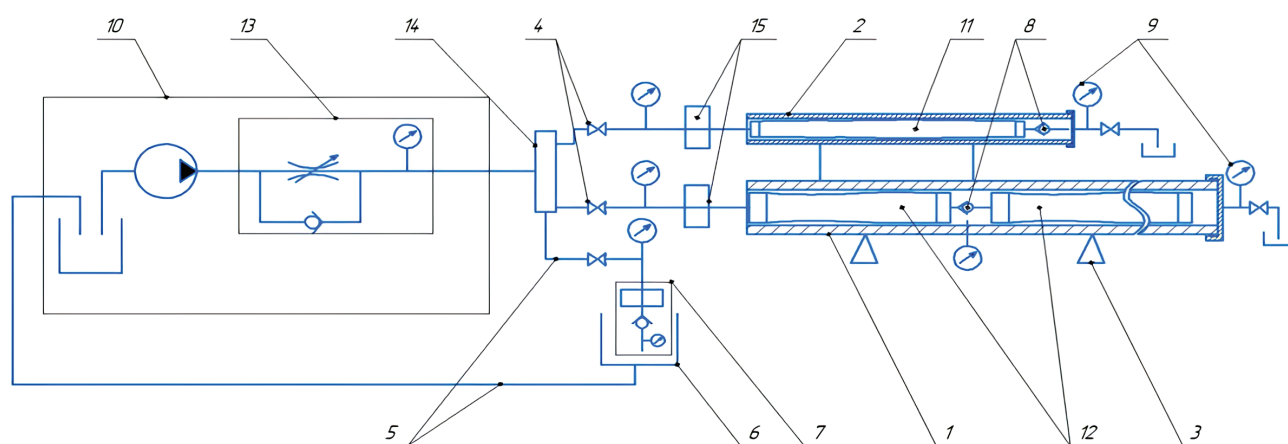


Рис. 5. Функциональная схема стенда для исследования процессов гидродинамического воздействия на угольные пласти. 1 — труба 120; 2 — труба 76; 3 — опора; 4 — вентиль; 5 — высоконапорные рукава; 6 — емкость; 7 — исследуемый клапан с устройством индикации; 8 — клапан разрыва; 9 — манометры; 10 — насосная гидравлическая станция; 11 — пакер 76; 12 — пакер 42; 13 — регулируемый дроссель; 14 — тройник; 15 — устройство индикации открывания (закрывания) клапана.

клапанами. Электрооборудование станции должно быть оснащено кнопкой экстренной остановки станции «СТОП».

Гидравлическая обвязка стенда осуществляется рукавами высокого давления и гидроарматурой с двукратным превышением максимального давления насосной станции. Соединение рукавов высокого давления за счет резьбовых фитингов, допускаются фитинги с быстроразъёмным соединением. Проходное сечение рукавов и фитингов 15 мм. Стенд оснащается манометрами 600 кг/см² согласно гидравлической схеме и устройством индикации открывания (закрывания) клапана.

Проведенные стендовые испытания показали, что в момент подачи рабочей жидкости в разрывное устройство упругие рукава

увеличиваются в диаметральном направлении вплоть до соприкосновения со стенками скважины. Для измерения осевого перемещения герметизаторов (пакеров) от давления были выполнены дополнительные лабораторные исследования не только в трубе не только диаметром 80 мм, но и диаметром 105 мм. Пакер диаметром 76 мм, длиной с заделками 1113 мм и длиной резиновой части 830 мм устанавливался в трубу диаметром 105 мм (рис. 6).

Раскрытие пакера произошло при давлении от 0,1 до 0,5 МПа без надежного крепления в трубе (скважине). При этом край пакера переместился на 80 мм (рис. 6а). Дальнейшее увеличение давления от 0,5 до 2,0 МПа приводит к надежному закреплению пакера в трубе (скважине). При этом край пакера

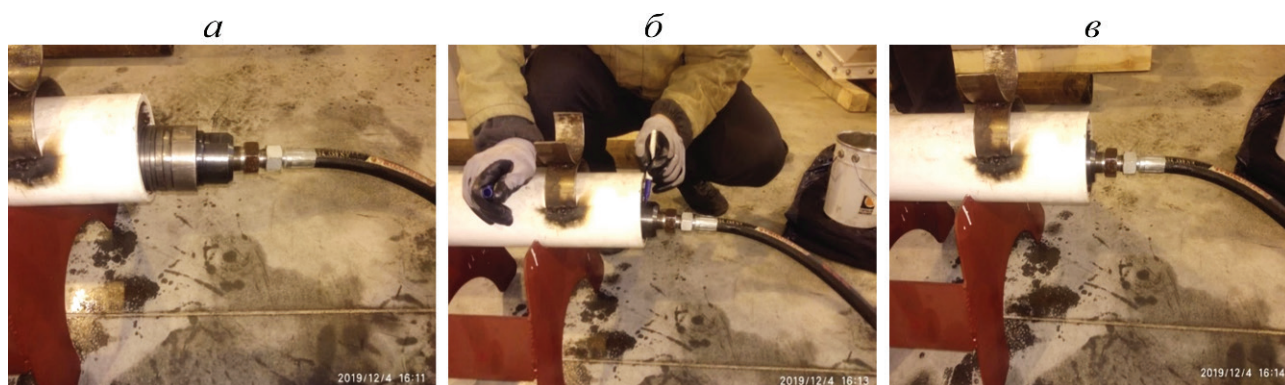


Рис. 6. Стендовые испытания пакера в трубе диаметром 105 мм

перемещается на 15 мм (рис. 6б). Дальнейшее увеличение давления до 5,0 МПа не привело к перемещению торца пакера (рис. 6в)

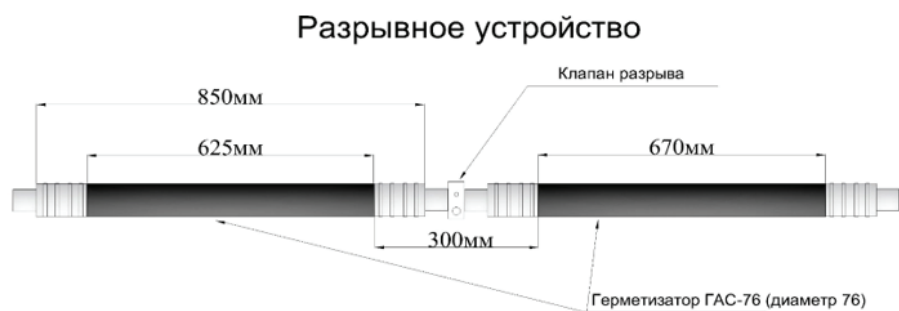
При этом происходит их укорачивание в осевом направлении. Поскольку два герметизатора жестко связаны между собой через корпус клапана, в месте их крепления к втулкам возникают значительные растягивающие силы, стремящиеся разорвать это соединение, что снижает надежность работы устройства.

При осуществлении поинтервального гидроразрыва в угольном пласте при бурении возникает изменчивость сечения дегазационных скважин и отклонения их сечения от круговой формы [17], что должно компенсироваться упруго расширяющимися рукавами. Для оценки возможности упругих рукавов перекрывать размеры изменяющейся в диаметре скважины выполнены исследования возможности изменения размеров пакерных устройств вне трубы (рис. 7). Установлено, что размеры упруго расширяющихся пакеров увеличиваются до 60% и могут обеспечить герметизацию скважины в широком диапазоне.

ШАХТНЫЕ ИСПЫТАНИЯ МЕТОДА ПОИНТЕРВАЛЬНОГО ГИДРОРАЗРЫВА УГОЛЬНОГО ПЛАСТА И РАЗРЫВНОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ДЕГАЗАЦИИ

Показательные пробные шахтные испытания были проведены в условиях шахты Распадская из конвейерного штрека на пласт 7-7а мощностью 3,60–4,24 метра, где природная газоносность составляет 22,0–22,5 м³/т в восстающей скважине предварительной дегазации с разворотом от оси выработки на 90°. Для определения эффективной зоны гидроразрыва в 9,6 метра по обе стороны пробурены контрольные скважины. Первые три гидроразрыва с регистрацией изменения диаметра скважины были проведены на устье выработки в 30 метрах.

До и после реализации работ проводился ежесуточный мониторинг изменения параметров дегазации в скважине гидроразрыва и соседних контрольных скважин (рис. 8). Установлено, что при реализации трех разрывов вблизи выработки (30 м) произошло увеличение выхода метана в среднем в 2,4 раза.



№п/п	№ пакера	Длина резиновой заделки L, мм.	Диаметр пакера	Давление, Бар	Фото
Исход №1	1 пакер	625	78	0	
	2 пакер	670	78	0	
Исход №2	1 пакер	520	106	6-10	
	2 пакер	590	100	6-10	
Исход №3	1 пакер	450	122	30-50	
	2 пакер	490	120	30-50	

Рис. 7. Испытания разрывного устройства вне трубы

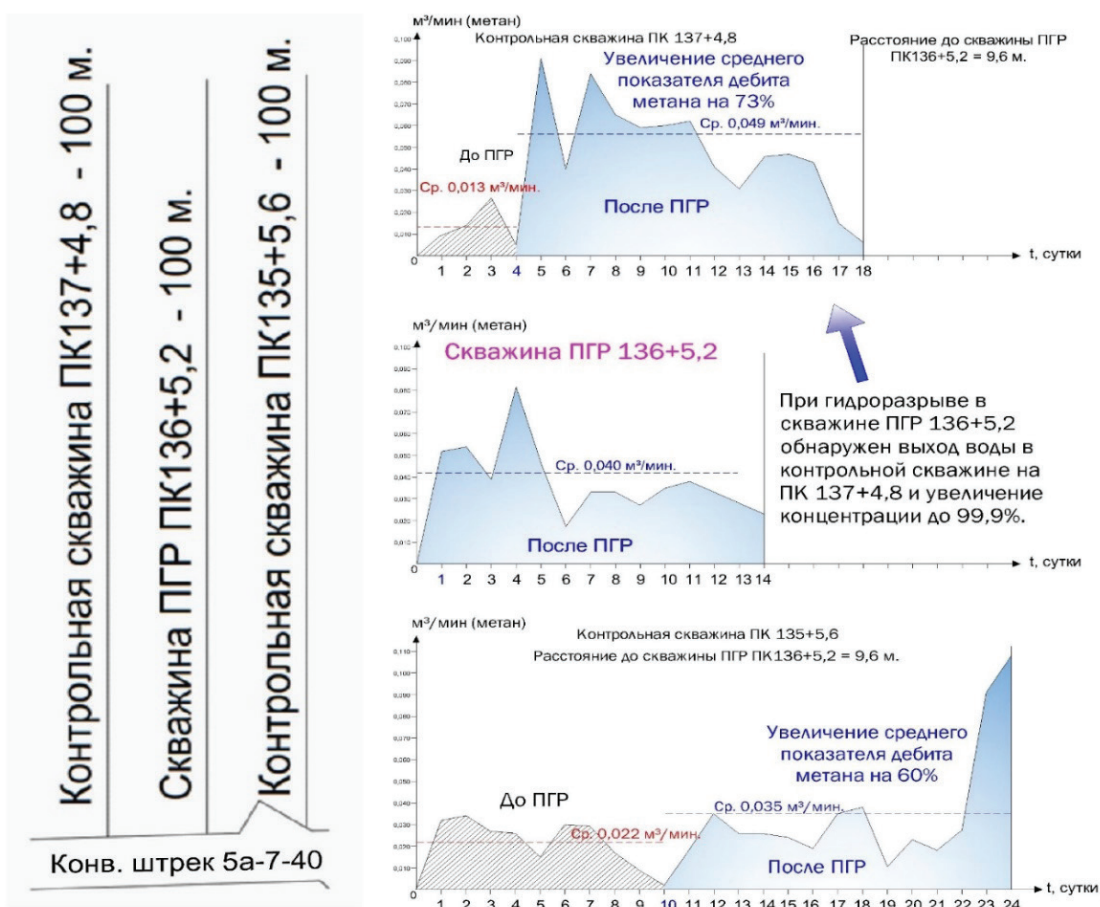


Рис. 8. Графики мониторинга изменения параметров дегазации до и после поинтервального гидроразрыва в скважине ПГР1 (ПК136+5,2)

В результате выполнения работ созданы основы технологии, обеспечивающей снижение объемов бурения дегазационных скважин в 3 раза при одновременном увеличении интенсивности и глубины дегазации угольных толщ не менее, чем в 2 раза с получением на выходе метано-воздушных смесей. Достижение указанных параметров позволит:

- повысить безопасность добычи угля за счет повышения глубины его дегазации и снижения опасности внезапных выбросов метана;
- повысить безопасность добычи угля за счет снижения опасности горных ударов вследствие частичной разгрузки массива от напряжений трещинами гидроразрыва;
- снизить объемы бурения дегазационных скважин;
- снизить вредные выбросы метана в атмосферу.

ВЫВОДЫ

Для повышения эффективности дегазационных работ и снижения газообильности угольных пластов, для достижения высоких скоростей проведения подготовительных выработок и высоких нагрузок на очистные забои предложен метод поинтервального гидроразрыва угольного пласта для интенсификации газоотдачи угольного пласта из необсаженных скважин, пробуренных из подготовительных выработок. Разработаны устройства гидроразрыва для реализации метода, состоящие из двух упруго расширяющихся пакеров, между которыми установлен клапан. Разработан стенд и выполнены лабораторные исследования работы устройств гидроразрыва, показаны особенности их работы. Показана возможность изменения диаметра пакеров до 60 % от исходного, а также необходимость усиления пакеров в местах

их заделки со стороны клапанных устройств. Разработаны технологические схемы применения метода поинтервального гидроразрыва в выемочном столбе из подготовительного забоя. Выполнены пробные шахтные испытания, свидетельствующие об эффективности метода — увеличение выхода метана даже при трех разрывах в 2,4 (ср.) раза.

Исследование выполнено в рамках комплексной научно-технической программы полного инновационного цикла «Разработка и внедрение комплекса технологий в областях разведки и добычи полезных ископаемых, обеспечения промышленной безопасности, биоремедиации, создания новых продуктов глубокой переработки из угольного сырья при последовательном снижении экологической нагрузки на окружающую среду и рисков для жизни населения», утвержденной Распоряжением Правительства Российской Федерации от 11.05.2022 г. №1144-р (Соглашение № 075-15-2022-1191).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ножкин Н. В. Заблаговременная дегазация угольных месторождений. М.: Недра, 1979. 271 с.
2. Сергеев И. В., Забурдяев В. С. и др. Управление газовыделением в угольных шахтах при ведении очистных работ. М.: Недра, 1992. 256 с.
3. Сластунов С. В. Заблаговременная дегазация и добыча метана из угольных месторождений. М.: Изд-во МГГУ, 1996. 441 с.
4. Малышев Ю. Н., Худин Ю. Л., Васильчук М. П. и др. Проблемы разработки метаноносных пластов в Кузнецком угольном бассейне. М.: Изд-во Академии горных наук, 1997. 463 с.
5. Пучков Л. А., Сластунов С. В., Федунец Б. И. Перспективы добычи метана в Печорском угольном бассейне. М.: Изд-во МГГУ, 2004. 557 с.
6. 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.
7. Ремезов А. В., Торро В. О. Анализ развития технологии и способов направленного бурения дегазационных скважин: вертикальных, наклонных и горизонтальных // Вестник Научного центра ВостНИИ по промышленной и экологической безопасности. 2019. № 1. С. 53–74.
8. Шумилов В. А., Аксельрод С. М., Шумилов А. В. Геофизические методы исследования скважин при разведке и добыче метана из угольных пластов: монография. Пермский государственный национальный исследовательский университет, 2014. 138 с.
9. Пармузин П. Н. Зарубежный опыт освоения ресурсов метана угольных пластов. Ухта: УГТУ, 2017. 109 с.
10. Jun F., Linming D., Hua H., Taotao D., Shibin Z., Bing G., Xinglin S. Directional hydraulic fracturing to control hard-roof rockburst in coal mines // International Journal of Mining Science and Technology. 2015. Vol. 22. Iss. 2. P. 177–181.
11. Ахмед Аль-Джубори, Шон Джонстон, Чак Бойер, Стивен У. Ламберт, Оскар А. Бустос, Джек С. Пэшин, Энди Рэй Метан угольных пластов: чистая энергия для всего мира // Нефтегазовое обозрение. 2009. Т. 21. № 2. С. 4–17.
12. Бадер Аль-Мата, Маджди Аль-Мутава, Мухаммад Аслам, Мохаммад Дашти, Джитендра Шарма, Бьюн О. Ли, Х. Рикардо Соларес, Том С. Немек, Джейсон Суорен, Лорис Теальди Индивидуальный подход к проектированию гидроразрыва пласта // Нефтегазовое обозрение. 2008. С. 4–18.
13. Liew M. S.; Danyaro K. U.; Zawawi N.A. W.A. A Comprehensive Guide to Different Fracturing Technologies: A Review // Energies. 2020. Vol. 13. P. 3326.

14. Клишин В. И., Тациенко А. Л., Опрук Г. Ю. Инновационные методы интенсификации процесса дегазации угольных пластов из подготовительных выработок // Вестник КузГТУ. 2017. № 6. С. 89–96.

15. Klishin V., Opruk G., Tatsienko A. Stimulation of Gas Emission Processes in Boreholes Using Interval Hydraulic Fracturing in Borehole Local Parts // E3S Web of Conferences. 2018. Vol. 41. Article No. 03005.

16. Klishin V., Klishin S., Tatsienko A. Study of the Interaction of a Packing Device with a Coal Seam at Interval Hydraulic Fracturing // E3S Web of Conferences. 2020. Vol. 174. Article No. 01060.

17. El Rabaa W. Experimental study of hydraulic fracture geometry initiated from horizontal wells // SPE Annual Technical Conference and Exhibition. Society of Petroleum Engineers, 1989.

DOI: 10.25558/VOSTNII.2023.87.51.003

UDC 622.245; 539.3

© V. I. Klishin, G. Y. Oprug, S. I. Svyazev, 2023

V. I. KLISHIN

Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Director
Federal Research Center for Coal and Coal Chemistry, Kemerovo
e-mail: klishinvi@icc.kemsc.ru

G. Y. OPRUG

Candidate of Technical Sciences,
Head of the Laboratory
Federal Research Center for Coal and Coal Chemistry, Kemerovo
e-mail: opruk@yandex.ru

S. I. SVYAZEV

Senior Laboratory Engineer
Federal Research Center for Coal and Coal Chemistry, Kemerovo
e-mail: s.svyazev@yandex.ru

BENCH AND PILOT INDUSTRIAL TESTS OF EQUIPMENT IN THE STUDY OF THE PROCESS OF HYDRODYNAMIC IMPACT ON THE COAL SEAM

Analysis of known methods of degassing and intensification of the process was performed. A new method of interventional hydraulic fracturing of a coal bed from open wells and means of its implementation is proposed. The process diagram of the interval hydraulic fracturing of the coal bed from underground mine workings through open degassing wells is considered. The means of its implementation are shown in the form of a double-sided packer with a valve installed between them. The results of laboratory and mine tests of the method and devices of interval hydraulic fracturing of the coal seam are given.

Keywords: COAL BED DEGASSING, INTERVENTIONAL HYDRAULIC FRACTURING, HYDRAULIC FRACTURING DEVICES, BENCH AND MINE TESTS.

REFERENCES

1. Nozhkin N. V. Advance degassing of coal deposits. M.: Nedra, 1979. 271 p. [In Russ.].
2. Sergeev I. V., Zaburdyaev V. S. and others. Management of gas release in coal mines during cleaning operations. M.: Nedra, 1992. 256 p. [In Russ.].

3. Slastunov S. V. Advance degassing and extraction of methane from coal deposits. M.: Publishing House of Moscow State University, 1996. 441 p. [In Russ.].
4. Malyshev Yu. N., Khudin Yu. L., Vasilchuk M. P., etc. Problems of development of methane-bearing formations in the Kuznetsk coal basin. M.: Publishing House of the Academy of Mining Sciences, 1997. 463 p. [In Russ.].
5. Puchkov L. A., Slastunov S. V., Fedunets B. I. Prospects of methane production in the Pechora coal basin. M.: Publishing House of Moscow State University, 2004. 557 p. [In Russ.].
6. Ruban A. D., Zaburdyayev V. S., Zaburdyayev G. S., Matvienko N. G. Methane in coal mines and mines of Russia: forecast, extraction and use. M.: IPCON RAS, 2006. 312 p. [In Russ.].
7. Remezov A. V., Torro V. O. Analysis of the development of technology and methods of directional drilling of degassing wells: vertical, inclined and horizontal // Bulletin of the Scientific Center of VostNII on industrial and Environmental Safety [Vestnik Nauchnogo tsentra VostNII po promyshlennoy i ekologicheskoy bezopasnosti]. 2019. No. 1. P. 53–74. [In Russ.].
8. Shumilov V. A., Axelrod S. M., Shumilov A. V. Geophysical methods of well research in the exploration and extraction of methane from coal seams: monograph. Perm State National Research University, 2014. 138 p. [In Russ.].
9. Parmuzin P. N. Foreign experience in the development of coalbed methane resources. Ukhta: UGTU, 2017. 109 p. [In Russ.].
10. Jun F., Linming D., Hua H., Taotao D., Shibin Z., Bing G., Xinglin S. Directional hydraulic fracturing to control hard-roof rockburst in coal mines // International Journal of Mining Science and Technology. 2015. Vol. 22. Iss. 2. P. 177–181.
11. Ahmed Al-Jabari, Sean Johnston, Chuck Boyer, Stephen W. Lambert, Oscar A. Bustos, Jack S. Pashin, Andy Ray Coalbed methane: Clean energy for the whole world // Oil and Gas Review [Neftegazovoye obozreniye]. 2009. Vol. 21. No. 2. P. 4–17. [In Russ.].
12. Bader Al-Mata, Majdi Al-Mutawa, Muhammad Aslam, Mohammad Dashti, Jitendra Sharma, Byun O. Lee, H. Ricardo Solares, Tom S. Nemek, Jason Suoren, Loris Tealdi Individual approach to hydraulic fracturing design // Oil and Gas Review [Neftegazovoye obozreniye]. 2008. P. 4–18. [In Russ.].
13. Liew M. S.; Danyaro K.U.; Zawawi N. A. W. A. A Comprehensive Guide to Different Fracturing Technologies: A Review // Energies. 2020. Vol. 13. P. 3326.
14. Klishin V. I., Tatsienko A. L., Opruk G. Yu. Innovative methods of intensification of the process of degassing coal seams from preparatory workings // Bulletin of KuzSTU [Vestnik KuzGTU]. 2017. No. 6. P. 89–96. [In Russ.].
15. Klishin V., Opruk G., Tatsienko A. Stimulation of Gas Emission Processes in Boreholes Using Interval Hydraulic Fracturing in Borehole Local Parts // E3S Web of Conferences. 2018. Vol. 41. Article No. 03005.
16. Klishin V., Klishin S., Tatsienko A. Study of the Interaction of a Packing Device with a Coal Seam at Interval Hydraulic Fracturing // E3S Web of Conferences. 2020. Vol. 174. Article No. 01060.
17. El Rabaa W. Experimental study of hydraulic fracture geometry initiated from horizontal wells // SPE Annual Technical Conference and Exhibition. Society of Petroleum Engineers, 1989.