ГИАБ. Горный информационно-аналитический бюллетень /
MIAB. Mining Informational and Analytical Bulletin, 2020;(2):58-70
ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ / ORIGINAL PAPER

УДК 622.817.47 DOI: 10.25018/0236-1493-2020-2-0-58-70

АПРОБАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ КОМПЛЕКСНОЙ ДЕГАЗАЦИОННОЙ ПОДГОТОВКИ УГОЛЬНОГО ПЛАСТА НА БАЗЕ ЕГО ГИДРОРАСЧЛЕНЕНИЯ ЧЕРЕЗ СКВАЖИНЫ С ПОВЕРХНОСТИ

С.В. Сластунов[1], Е.В. Мазаник[2], А.П. Садов[2], А.М.-Б. Хаутиев[2]

[1] ГИ НИТУ «МИСиС», Москва, Россия, e-mail: slastunovsv@mail.ru
[2] АО «СУЭК-Кузбасс», Ленинск-Кузнецкий, Россия

Аннотация: Изложены особенности формирования высоко эффективной технологической схемы комплексной пластовой дегазационной подготовки угольного пласта к интенсивной и безопасной разработке. Технология комплексной дегазации предполагает на первом этапе проведение гидрорасчленения подготавливаемого к интенсивной разработке угольного пласта через скважины, пробуренные с поверхности (ГРП), затем гидроразрыв (гидрорасчленение) менее обработанной части угольного пласта через скважины, пробуренные из подготовительных выработок, и извлечение метана из созданного высокопроницаемого углегазового коллектора типовыми скважинами подземной пластовой дегазации. Разработанной технологией также предусматривается удаление метана из угольного пласта, где он находится под существенным пластовым давлением, вследствие его миграции по созданному в пласте гидроразрывом высоко проницаемого углегазового коллектора из глубины массива в подготовительную выработку и дальнейший вынос его вентиляционной струей в процессе проветривания выемочного участка.Представлены результаты натурной апробации усовершенствованной технологии ГРП, установлен режим гидровоздействия на массив и наличие взаимосвязи трещин ГРП и трещин подземного гидроразрыва. Рассмотрен механизм одной из перспективных схем совершенствования технологии ГРП в части достижения в процессе гидродинамического воздействия на угольный пласт режима самоподдерживающегося разрушения угля, что должно существенно повысить эффективность пластовой дегазации, особенно в условиях разработки выбросоопасных угольных пластов Комплексная пластовая дегазация, апробированная на ряде выемочных участков шахты им. С.М. Кирова, в значительной степени снижает ограничения на нагрузки на очистной забой по газовому фактору, существенно уменьшает время простоев добычного оборудования и повышает безопасность ведения подземных горных работ.

Ключевые слова: комплексная пластовая дегазация, гидрорасчленение пласта скважинами с поверхности, гидроразрыв из подземных выработок, типовая пластовая дегазация, механизм уменьшения газообильности очистных работ, шахтные испытания, совершенствование технологии, эффект самоподдерживающегося разрушения угля, снижение выбросоопасности.

Для цитирования: *Сластунов С. В., Мазаник Е. В., Садов А. П., Хаутиев А. М.-Б.* Апробация технологии комплексной дегазационной подготовки угольного пласта на базе его гидрорасчленения через скважины с поверхности // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2020. – № 2. – С. 58–70. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-2-0-58-70.

© С.В. Сластунов, Е.В. Мазаник, А.П. Садов, А.М.-Б. Хаутиев. 2020.

Testing of integrated degasifying treatment technology based on hydraulic splitting of coal seam using surface holes

S.V. Slastunov[1], E.V. Mazanik[2], A.P. Sadov[2], A.M.-B. Khautiev[2]

[1] Mining Institute, National University of Science and Technology «MISiS», Moscow, Russia, e-mail: slastunovsv@mail.ru

[2] Joint-stock company «SUEK-Kuzbass», Leninsk-Kuznetsky, Russia

Abstract: Construction of a highly efficient flow chart for the integrated underground degasifying treatment of coal seams towards intensive and safe mining is described. The integrated degasification technology assumes the initial-stage hydraulic splitting of a treated coal seam using surface holes, then hydraulic fracturing (splitting) of less treated coal seam using holes drilled from roadways and methane recovery from the generated highly permeable coal–gas reservoir via standard in-mine drainage boreholes. The developed technology also provides methane drainage under high strata pressure by inducing methane migration along highly permeable coal–gas reservoir created by hydraulic fracturing, from rock mass to temporary roadways, and further removal of methane with ventilating current during longwall airing. The full-scale testing of the improved hydraulic fracturing technology is described, the mode of hydraulic treatment of coal and rocks is found, and the interconnection between hydrofractures created from surface and underground boreholes is determined. The mechanism of a promising flow chart for the improvement of the hydraulic fracturing technology through achieving the self-sustained coal destruction by hydrodynamic impact, which can greatly enhance mine drainage efficiency, especially in highly outburst-hazardous coal seams, is considered. The integrated mine drainage tested in some extraction panels in the Kirov Mine substantially abates face output constraints by gas criterion, cuts down idle time of mining machines and enhances safety of underground mining.

Key words: integrated mine drainage, hydraulic splitting of coal seam using surface holes, hydraulic fracturing from underground roadways, standard mine drainage, mechanism of gas content reduction in longwalls, mine tests, technology improvement self-sustained coal destruction effect, outburst hazard reduction.

For citation: Slastunov S. V., Mazanik E. V., Sadov A. P., Khautiev A. M.-B. Testing of integrated degasifying treatment technology based on hydraulic splitting of coal seam using surface holes. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020;(2):58-70. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-2-0-58-70.

Введение

Тенденция последних десятилетий в угольной промышленности — резкий рост нагрузок на очистные забои, обеспечивающий экономическую состоятельность подземной угледобычи. Это приводит к существенному увеличению газообильности очистных работ, экономически неоправданным простоям мощной угледобывающей техники. Возникает проблема, связанная с необходимостью увеличения предельно допустимых нагрузок на очистные забои по газовому фактору. Этого можно достичь применением эффективных способов пластовой дегазации, наиболее узком месте в практике решения газовых проблем в угольных шахтах.

Сущность комплексной пластовой дегазации

Отличительной особенностью проведенных на шахте им. С.М. Кирова АО «СУЭК-Кузбасс» поисковых работ по апробации комплексной дегазационной подготовки угольного пласта Болдыревский на основе его гидрорасчленения через скважины, пробуренные на пласт с поверхности, явилась попытка достичь высокого дегазационного эффекта в отно-

сительно небольшой временной период, отпущенный программой развития горных работ на шахте на пластовую дегазацию. Этого эффекта предполагалось достичь с помощью применения комплексной дегазации, включающей в себя на первом этапе работ гидрорасчленение угольного пласта с поверхности (ГРП), на втором этапе — гидроразрыв менее обработанной его части через подземные пластовые скважины, пробуренные из горных выработок (ПодзГРП), и на третьем этапе — извлечение метана из пласта скважинами типовой подземной пластовой дегазации, пробуренными из подготовительной выработки (ППД).

Предыстория вопроса

Проблемам разработки эффективных технологических схем дегазации углегазоносного массива и, в частности, пластовой дегазации разрабатываемого угольного пласта на основе его гидродинамической обработки посвящены многочисленные публикации [1—5]. Работы по заблаговременной дегазации угольных пластов через скважины, пробуренные с поверхности (ЗДП), явились развитием проведенных нами в последнее время работ по подземному гидроразрыву, достаточно детально изложенных в [6—9]. Технологические особенности способа ЗДП известны, базовая технология прошла широкие опытно-промышленные испытания в Карагандинском и Донецком угольных бассейнах и нашла отражение в многочисленных публикациях, в частности, в [10—13].

Проведение первых поисковых работ

На поле шахты им. С.М. Кирова 24 мая 2019 г. в ходе первого поискового эксперимента было произведено гидровоздействие в режиме гидрорасчленения на пласт Болдыревский через скважину 1 ГРП, пробуренную с дневной поверхности (первый этап реализации разработанной и исследуемой нами технологии комплексной пластовой дегазации).

Основные параметры обработки пласта через скважину 1 ГРП:

- общее время обработки — 214 мин;
- темп закачки — 102,7 л/с;
- давление ГРП — 127 бар;
- объем закачки — 746 м^3.

Через скважину 2 ГРП было произведено гидровоздействие в режиме гидрорасчленения 29 мая 2019 г.

Основные параметры обработки пласта через скважину 2 ГРП:

- общее время обработки 164 мин;
- темп закачки — 58,5 л/с;
- давление — максимальное 117 бар;
- объем закачки — 379 м^3.

Щадящий режим закачки в части темпа нагнетания и объема закачки был обусловлен характеристикой устойчивости кровли в зоне гидродинамического воздействия.

В процессе и после проведения гидрорасчленения в шахте в вентиляционном штреке 24—63 наблюдался выход воды возле люковой печи 2462-9 на расстоянии 430 м от места заложения скважины 1 ГРП. Затем спустя некоторое время в отрезке между ПК 202 и 207 на расстоянии 323 м от скважины через 17 анкеров с кровли наблюдался струйный выход воды. Спустя 1—2 суток водопроявление существенно снизилось, остался незначительный капеж через 7 анкеров.

После проведения гидрорасчленения 2 ГРП спустя непродолжительное время в шахте в вентиляционном штреке 24—63 наблюдался площадной капеж возле ПК 209 и 210. Спустя где-то 1 ч капеж наблюдался возле ПК 207, 203, и 201 с кровли и анкеров. От места заложения скважины расстояние до мест выхода воды 317 и 300 м соответственно. Спустя 1—2 суток водопроявления прекратились.

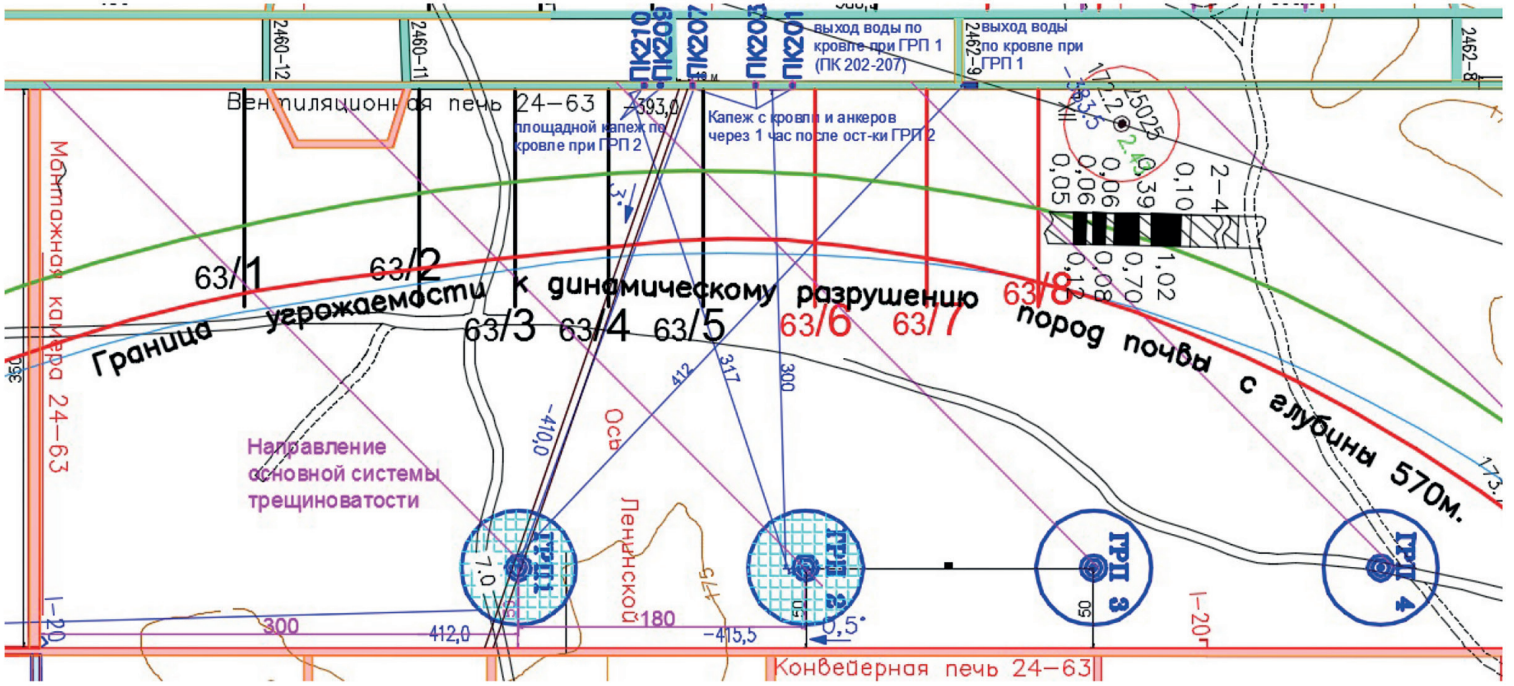

Рис. 1. Место выхода воды в подземные выработки выемочного участка 24—63
Fig. 1. The Place of water outlet in the underground workings of the excavation site 24—63

По наблюдениям за водопроявлением во время гидровоздействия через скважины 1 ГРП и 2 ГРП зафиксирован выход воды в обоих случаях в отрезке ПК 201—210 (90 м по выработке). Выкопировка из плана горных работ по пласту Болдыревский приведена на рис. 1.

По данным геологической службы основная система трещиноватости расположена под углом 45° к фланговому вентиляционному уклону 24—03 с углом падения 80°.

Идентификация режима гидрообработки угольного пласта

По полученным результатам изменения давления при проведении ГРП и наблюдениям за водопроявлениями (рис. 2—4) можно констатировать факт реализации режима гидрорасчеленения с плавным раскрытием трещин по направлению основной системы трещиноватости пласта.

При гидрорасчленении через скважину 2 ГРП наблюдалось возрастание давления до 184,3 бар, что немного выше прогнозных значений, и затем плавное снижение (рис. 3). Реализованный режим закачки воды на этой скважине может быть квалифицирован как режим гидрорасчленение с локальным гидроразрывом. При этом после некоторого установления давление во время закачки плавно снизилось со 120 бар на 117 бар к моменту окончания.

Замер остаточного давления после гидрорасчленения 1 ГРП, которое составило 40,3 бар, был произведен 27 мая 2019 г. За прошедшие сутки давление, в отличие от первых суток после гидрорасчленения, снизилось незначительно (на 3,5 бар). Ввиду того, что измеренное ранее на стадии реализации ПодзГРП пластовое давление в пласте Болдыревский составило 36÷38 бар, можно допустить, что давление может при отсутствии утечек стабилизироваться на уровне, близком 40 бар.

После измерения остаточного давления был произведен постепенный сброс давления в скважине. Ориентировочный объем излившейся воды при этом составил порядка 3—6 м^3. После 45-й минуты самоизлива поток воды снизился до минимального. После этого был произведен демонтаж устьевой головки с крана-

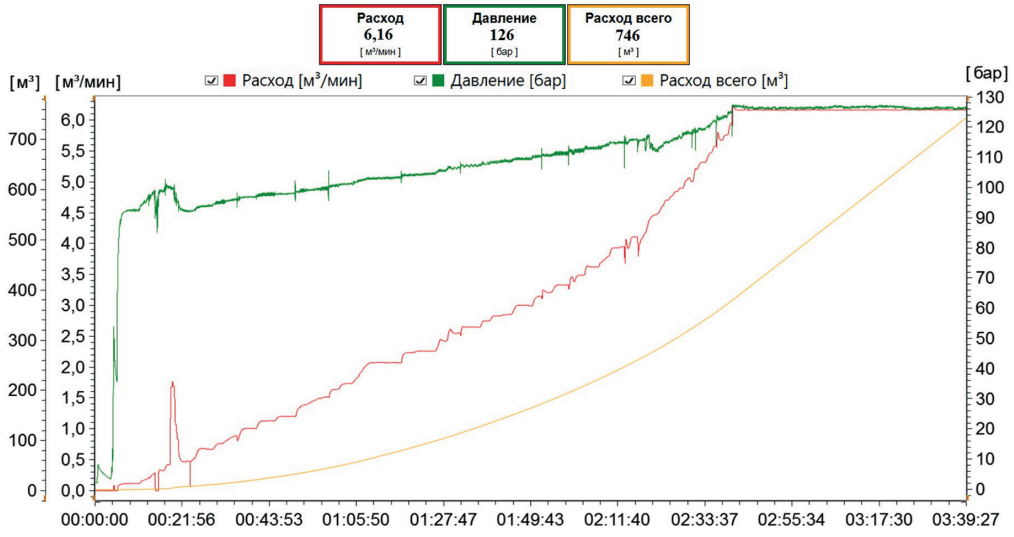

Рис. 2. График реализации ГРП на скважине 1 ГРП
Fig. 2. Timeline of implementation of hydraulic fracturing at the well 1 frac

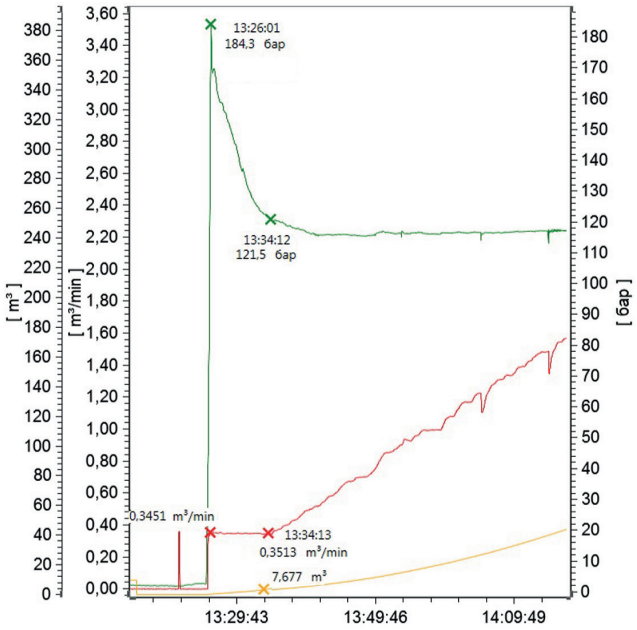

Рис. 3. График реализации ГРП на скважине 2 ГРП (выход на режим)
Fig. 3. Timeline of implementation of hydraulic fracturing in the well 2 frac (output mode)

ми высокого давления. После демонтажа устьевой арматуры наблюдался стабильный выход газа через столб воды.

При подходе проходческих работ к скважине ГРП планируется бурение куста направленных скважин для соединения ее с выработкой, чтобы спустить в последнюю воду, и последующее бурение скважин ППД в зоне гидрорасчленения с подключением скважин к шахтной дегазационной сети.

Второй этап реализации комплексной пластовой дегазации — подземный гидроразрыв.

Второй этап реализации технологии комплексной пластовой дегазации уголь-

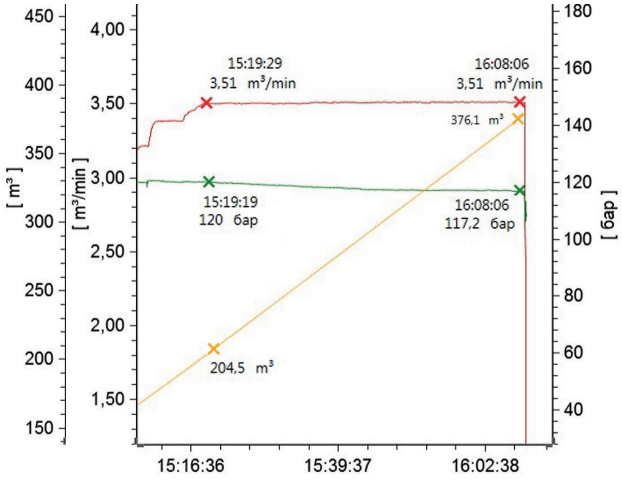

Рис. 4. График реализации ГРП на скважине 2 ГРП (завершение закачки)
Fig. 4. Timeline of implementation of hydraulic fracturing in the well 2 frac (complete download)

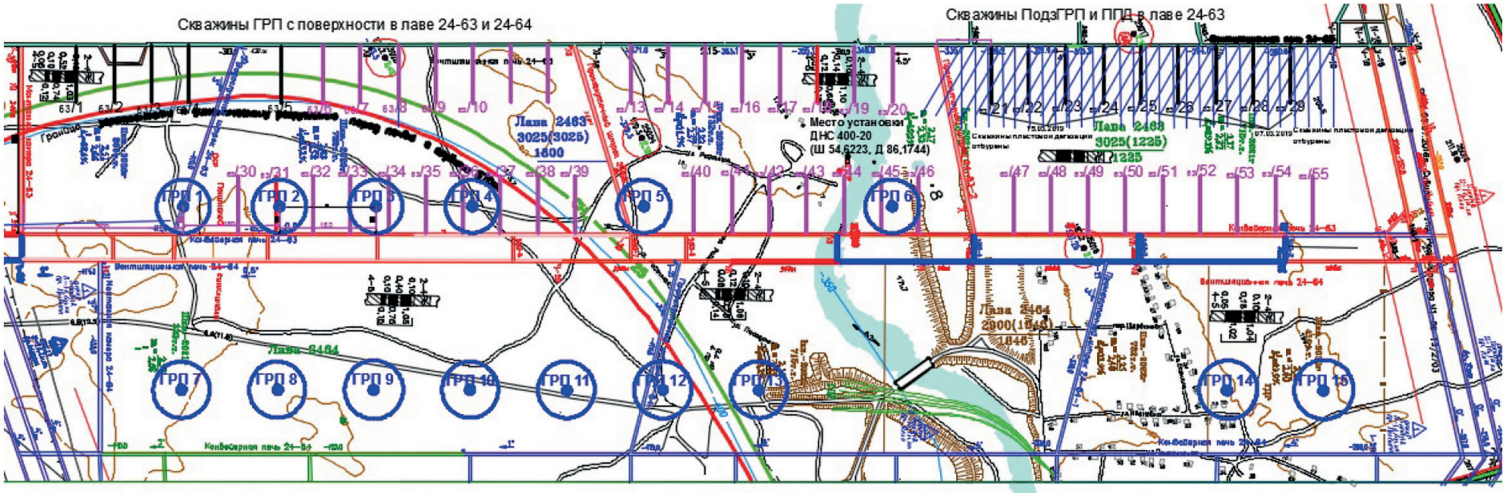

Рис. 5. Объекты дегазационных работ по ГРП на пласте Болдыревский
Fig. 5. Objects of degassing works on hydraulic fracturing on the layer Boldyrevsky

ного пласта Болдыревский заключался в выполнения работ по подземному гидроразрыву пласта через скважины ПодзГРП № 63/1 — ПодзГРП № 63/5 на выемочном участке № 24—63 шахты им. С.М. Кирова. Расположение скважин ПодзГРП № 1—5 представлено на рис. 5.

Скважины ПодзГРП № 63/1—63/5 были пробурены длиной 136 м и диаметром 93 мм. Устьевая часть длиной 36 м разбурена диаметром 132 мм. Герметизация скважин была проведена совместно со специалистами ООО «ДСИ-Техно». При гидровоздействии закачка велась при работе маслостанции с темпом закачки рабочей жидкости 5 л/с. Объем закачки рабочей жидкости изменялся по скважинам ПодзГРП от 5,4 м^3 (скв. ПодзГРП № 1) до 41,4 м^3 (скв. ПодзГРП № 5). Установившееся давление нагнетания — от 180 бар (скв. ПодзГРП № 1 и 3) до 240 бар (скв. ПодзГРП № 4).

В скважине № 63/5 было выявлено наличие гидравлической связи скважин ПодзГРП № 5 и скважины 2 ГРП, что можно видеть из анализа графика, представленного на рис. 6.

Проявившая себя гидравлическая связь говорит о достижении поставленной цели по созданию газоотводящей системы трещин и фильтрующих пор, ориентированной к пластовым дегазационным скважинам. Из этой же организованной нами системы будет формироваться повышенный дебит типовых скважин подземной пластовой дегазации (ППД), пробуренных в зону повышенной проницаемости.

Типичный характер изменения давления в угольном пласте во времени (выход на режим) в ходе проведения ПодзГРП на примере одной из скважин представлен на рис. 7.

Разность по скважинам ПодзГРП величин установившегося в процессе гидрообработки угольного пласта давления может объясняться наличием зафиксированных сбоек скважин ПодзГРП с подготовительной выработкой.

Третий этап реализации комплексной пластовой дегазации — типовая подземная пластовая дегазация в зонах гидрорасчленения.

В зонах гидродинамического воздействия запланирован третий этап реализации технологии комплексной пластовой дегазации — бурение и подключение к газопроводу типовых скважин подземной пластовой дегазации (ППД). Необходимо отметить следующее. Базовым эта-

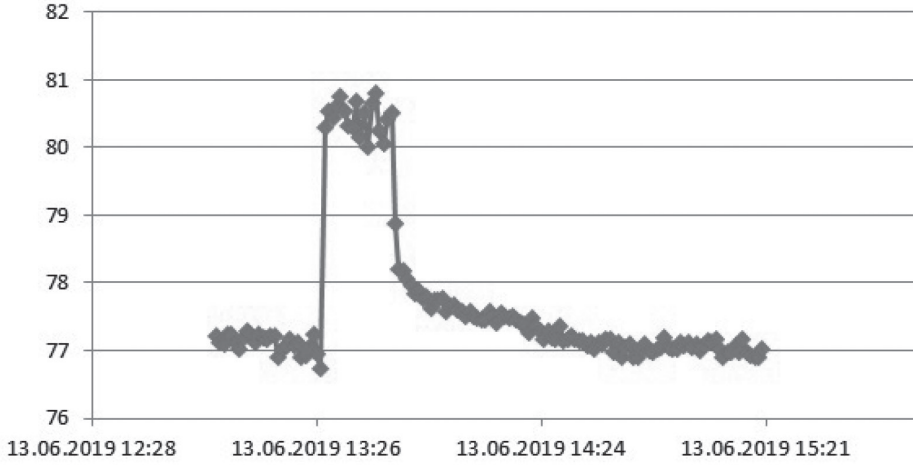

Рис. 6. Выявление гидравлической связи скважин ПодзГРП и скважины 2 ГРП
Fig. 6. Identification of hydraulic connection of wells and well Pzgrp 2 frac

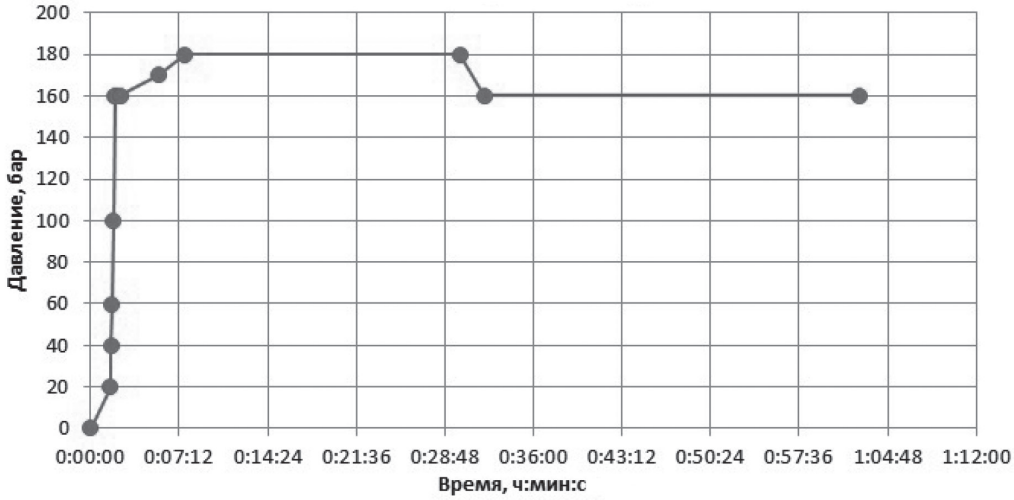

Рис. 7. Изменение давления в пласте во времени в ходе проведения ПодзГРП № 3
Fig. 7. Changes in reservoir pressure over time during hydraulic fracturing 3

пом реализуемых работ по комплексной пластовой дегазации явилось гидрорасчленение угольного пласта через скважины, пробуренные с поверхности.

На момент написания статьи работы по ГРП были проведены на двух скважинах ГРП. На настоящем первом поисковом этапе исследований технология ГРП была максимально упрощена. В частности, не проводилась перфорация угольного пласта перед гидрорасчленением. Имело место совершенное вскрытие пласта Болдыревский. Не осуществлялось закрепление трещин пропантом, что обычно делается во избежание смыкания раскрытых в процессе ГРП трещин. Предполагалось сохранения зияния трещин после гидрорасчленения угольного пласта за счет остаточных деформаций, возможность чего показана в [10—13]. Не предусматривалось также освоение скважин ГРП с помощью станков-качалок, погружных насосов, эрлифта и др. Последнее связано с весьма ограниченным временем эксплуатации скважин ГРП по извлечению метана на поверхность.

Принципиально новым моментом является запланированная технологическая операция, в которой предусматривается повышение фазовой проницаемости угольного пласта для газа путем удаления жидкости из фильтрующего объема угольного пласта и скважин ГРП через специально пробуренные скважины, которые должны соединить скважины ГРП с близлежащей подготовительной выработкой. На настоящем поисковом этапе работ не предусматривалось также применение способов интенсификации скважин ГРП.

Направления совершенствования технологии ГРП

В перспективном плане рассматриваются возможности совершенствования базовой технологии ГРП. Определенный научный и практический интерес представляет использование геоэнергии массива, в частности, энергии газа и сил горного давления для разрушения угля, что может обеспечить существенное уменьшение энергоемкости процесса масштабной деструкции (расчленения) угольного пласта и увеличение его проницаемости.

Аналитическое обоснование предпосылок использования геоэнергии угольного пласта для самоподдерживающегося разрушения угля (СПРУ) для последу-

ющей дегазации пласта и лабораторное исследование параметров реализации этого процесса было проведено профессором Г.Н. Фейтом (ИГД им. А.А. Скочинского, МГГУ). Технологически процесс СПРУ может быть реализован при нагнетании рабочей жидкости во вскрытый пласт (при совершенном вскрытии пласта) в режиме фильтрации с последующим резким сбросом давления на устье скважины. Сброс давления должен производиться с максимальной скоростью, при которой может происходить самопроизвольное разрушение и выброс угля и газа. Режим знакопеременного воздействия с выдачей угольного штыба и тонкоизмельченного угля может повторяться. Созданная полость формирует в угольном пласте зону повышенной трещиноватости и газопроницаемости, существенно разгруженную от горного давления.

Изложенная технологическая схема может быть осуществлена в двух вариантах: 1 — со знакопеременной обработкой прискважинной зоны для кавернообразования и разгрузки прискважинной зоны угольного пласта; 2 — с совмещением гидрорасчленения с условиями, обеспечивающими СПРУ в угольном пласте. При этом зона пониженных напряжений может развиваться во времени и распространяться вглубь пласта, то есть может происходить его самоподдерживающееся разрушение.

Условия реализации СПРУ были первоначально получены в лабораторных условиях экспериментально. Предполагалось, что прочность угольной пачки, на уровне которой осуществляется кавернообразование, должна соответствовать условию

$$B = \alpha \times X / f_k \geq 1 , \qquad (1)$$

где B — показатель устойчивости пачки угольного пласта; α — эмпирический коэффициент, равный 0,04 (установлен Г.Н. Фейтом); X — газоносность угольного пласта, м^3/т; $f_к$ — показатель прочности угольной пачки в месте пересечения скважиной.

Оценочно, критерию (1) удовлетворяют практически все выбросоопасные и большинство высокогазоносных угольных пластов.

Технология по первому варианту реализуется по следующим параметрам.

Минимальное давление нагнетания:

$$P_H^{min} = 0,3 \cdot (g \cdot \gamma \cdot H - P_{пл}) + P_{пл} , \quad (2)$$

Максимальное давление нагнетания:

$$P_H^{max} = 0,75 \cdot g \cdot \gamma \cdot H , \qquad (3)$$

где g — ускорение свободного падения, м/с^2; * — плотность налегающей толщи пород, кг/м^3; H — глубина залегания пласта, м; РПЛ — пластовое давление газа, Па.

Уравнение (2) получено в результате лабораторных исследований эффекта СПРУ, уравнение (3) соответствует условиям нагнетания рабочей жидкости в режиме фильтрации без достижения эффекта гидрорасчленения угольного пласта.

Например, для условий пласта Д6 шахты «Казахстанская» [12]:

$$P_н^{min} = 6,3 \text{ МПа}, \; P_н^{max} = 11,0 \text{ МПа}. \quad (4)$$

Исследуемая технология ранее была испытана в Карагандинском угольном бассейне на полях шахт им. Ленина (скважины № 15, 17) и «Казахстанская» (скважины № 25—27, 29 и ряде других), и была достигнута существенная эффективность по извлечению метана [13]. Целесообразность включения данной технологии в состав разрабатываемой комплексной дегазации предопределяется на настоящем этапе проведения работ на шахтах АО «СУЭК-Кузбасс» отсутствием технической возможности качественного вскрытия угольного пласта традиционными способами (пескоструйная или кумулятивная перфорация).

Завершение работ по комплексной дегазационной подготовке угольного пласта

Болдыревский к безопасной и интенсивной отработке на выемочном участке 24—63, объективная оценка ее работоспособности и эффективности позволит более обоснованно вести работы по совершенствованию разработанной технологии и определить область применения и перспективы дальнейшего развития данных работ на шахтах РФ.

Заключение

На настоящем этапе исследований можно в заключении констатировать следующее.

В сложных горно-геологических и горнотехнических условиях интенсивной разработки высокогазоносных угольных пластов целесообразно применять комплексную дегазационную подготовку последних на основе технологии их гидрорасчленения через скважины, пробуренные с поверхности.

В состав комплексной технологии дегазации могут включаться работы по гидроразрыву (гидрорасчленению) угольного пласта, осуществляемого через скважины, пробуренные также из подземных выработок в качестве дополнительной основы для обеспечения эффективного и равномерного по выемочному участку извлечению метана скважинами типовой пластовой дегазации (ППД).

В ходе первых поисковых работ на шахте им. С.М. Кирова подтверждена технологичность и работоспособность разработанной технологии предварительной комплексной дегазационной подготовки угольных пластов к безопасной и интенсивной отработке.

Показана возможность реализации на первом базовом этапе работ с использованием скважин, пробуренных с дневной поверхности, режима гидрорасчленения угольного пласта в процессе его гидродинамической обработки с локальными гидроразрывами.

Ориентировочно оценены размеры зоны гидрорасчленения при реализации проектных параметров, подлежащих в дальнейшем обоснованию, корректировке и оптимизации.

Определены возможности совершенствования исследуемой технологии на основе использования эффекта самоподдерживающегося разрушения угля в процессе его гидродинамической обработки.

Реальные перспективы, эффективность и область применения исследуемой комплексной технологии будут установлены в ходе дальнейших представительных исследований.

Авторы отмечают неоценимый вклад в настоящую работу генерального директора АО «СУЭК-Кузбасс», д-ра техн. наук Ютяева Е.П. и непосредственных участников работ — сотрудников Управления дегазации и утилизации метана и шахты им. С.М. Кирова возглавляемой им Компании.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Kurlenya M.V., Serdyukov S.V., Shilova T.V., Patutin A.V.* Procedure and equipment for sealing coal bed methane drainage holes by barrier shielding // Journal of Mining Science. 2014, vol. 50(5), pp. 994—1000. DOI: 10.1134/S1062739114050196011.

2. *Zhao Z.M., Wang G.* The research of gas drainage technology in daning coal mine // Applied Mechanics and Materials. 2014, vol. 580—583, pp. 2558—2563 DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.580-583.2558.

3. *Szott W., Słota-Valim M., Gołąbek A., Sowiżdżał K.* Numerical studies of improved methane drainage technologies by stimulating coal seams in multi-seam mining layouts // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 2018, vol. 108, pp. 157—168. DOI: 10.1016/j.ijrmms.2018.06.

4. *Hu C., Wu D.* A novel gas drainage technology for lower protected coal seams: Application and verification in Xinzhuangzi coal mine, Huainan coalfield // IPPTA: Quarterly Journal of Indian Pulp and Paper Technical Association, 2018, vol. 30(7), pp. 801—808.

5. *Zhang L., Zhang H., Guo H.* A case study of gas drainage to low permeability coal seam // International Journal of Mining Science and Technology, 2017, vol. 27(4), pp. 687—692. DOI: 10.1016/j.ijmst.2017.05.014.

6. *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.

7. *Сластунов С. В., Ютяев Е. П., Мазаник Е. В., Ермак Г. П.* Исследование эффективности усовершенствованной технологии подземного гидроразрыва угольного пласта для его дегазации // Горный журнал. — 2018. — № 1. — С. 83—87.

8. *Сластунов С. В., Ютяев Е. П.* Обоснованный выбор технологии пластовой дегазации для обеспечения безопасности подземных горных работ при интенсивной добыче угля // Записки горного института. — 2017. — Т. 223. — С. 125—130.

9. *Ютяев Е. П., Садов А. П., Мешков А. А., Хаутиев А. М., Тайлаков О. В., Уткаев Е. А.* Оценка фильтрационных свойств угля в гидродинамических испытаниях дегазационных пластовых скважин // Уголь. — 2017. — № 11. — С. 24—29.

10. *Ножкин Н. В.* Заблаговременная дегазация угольных месторождений. — М.: Недра, 1979. — 271 с.

11. *Временное* руководство по заблаговременной подготовке шахтных полей к эффективной разработке скважинами с поверхности с пневмогидровоздействием на свиту угольных пластов. — М.: МГИ, 1991. — 92 с.

12. *Инструкция* по дегазации угольных шахт. Ростехнадзор РФ, 2013.

13. *Садов А. П.* Повышение эффективности пластовой дегазации на основе циклических гидродинамических воздействий на угольные пласты. Автореферат на соиск. уч. степ. к.т.н.. — М.: НИТУ «МИСиС», 2016. — 26 с. ГИАБ

REFERENCES

1. Kurlenya M. V., Serdyukov S. V., Shilova T. V., Patutin A. V. Procedure and equipment for sealing coal bed methane drainage holes by barrier shielding. *Journal of Mining Science*. 2014, vol. 50(5), pp. 994—1000. DOI: 10.1134/S1062739114050196011.

2. Zhao Z. M., Wang G. The research of gas drainage technology in daning coal mine. *Applied Mechanics and Materials*. 2014, vol. 580—583, pp. 2558—2563 DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.580-583.2558.

3. Szott W., Słota-Valim M., Gołąbek A., Sowiżdżał K. Numerical studies of improved methane drainage technologies by stimulating coal seams in multi-seam mining layouts. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 2018, vol. 108, pp. 157—168. DOI: 10.1016/j.ijrmms.2018.06.

4. Hu C., Wu D. A novel gas drainage technology for lower protected coal seams: Application and verification in Xinzhuangzi coal mine, Huainan coalfield. *IPPTA: Quarterly Journal of Indian Pulp and Paper Technical Association*, 2018, vol. 30(7), pp. 801—808.

5. Zhang L., Zhang H., Guo H. A case study of gas drainage to low permeability coal seam. *International Journal of Mining Science and Technology*, 2017, vol. 27(4), pp. 687—692. DOI: 10.1016/j.ijmst.2017.05.014.

6. Slastunov S. V., Yutyaev E. P., Mazanik E. V., Sadov A. P., Ponizov A. V. Mine testing improved technology underground reservoir degassing with the use of hydraulic fracturing. *Ugol'*. 2016, no 11, pp. 32—37. [In Russ].

7. Slastunov S. V., Yutyaev E. P., Mazanik E. V., Ermak G. P. Study of the effectiveness of enhanced technology of underground hydraulic fracturing of a coal seam for the decontamination. *Gornyy zhurnal*. 2018, no 1, pp. 83—87. [In Russ].

8. Slastunov S. V., Yutyaev E. P. Reasonable choice of technology for reservoir degassing to ensure the safety of underground mining-intensive coal mining. *Zapiski gornogo instituta*. 2017. Vol. 223, pp. 125—130. [In Russ].

9. Yutyaev E.P., Sadov A.P., Meshkov A.A., Khautiev A.M., Taylakov O.V., Utkaev E.A.Evaluation of filtration properties of coal in hydrodynamic testing of reservoir degassing wells. *Ugol'*. 2017, no 11, pp. 24—29. [In Russ].

10. Nozhkin N.V. *Zablagovremennaya degazatsiya ugol'nykh mestorozhdeniy* [Advance degassing of coal deposits], Moscow, Nedra, 1979, 271 p.

11. *Vremennoe rukovodstvo po zablagovremennoy podgotovke shakhtnykh poley k effektivnoy razrabotke skvazhinami s poverkhnosti s pnevmogidrovozdeystviem na svitu ugol'nykh plastov* [Interim guidance for pre-preparation of the mining fields to the effective development of wells with the surface pneumohydrodrives the retinue of coal seams], Moscow, MGI, 1991, 92 p.

12. *Instruktsiya po degazatsii ugol'nykh shakht*. Rostekhnadzor RF [Manual for the degassing of coal mines. The Rostechnadzor of the Russian Federation], 2013. [In Russ].

13. Sadov A.P. *Povyshenie effektivnosti plastovoy degazatsii na osnove tsiklicheskikh gidrodinamicheskikh vozdeystviy na ugol'nye plasty* [Evaluation of filtration properties of coal in hydrodynamic testing of reservoir degassing wells], Candidate's thesis, Moscow, NITU «MISiS», 2016, 26 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Сластунов Сергей Викторович — д-р техн. наук, профессор,
ГИ НИТУ «МИСиС», e-mail: slastunovsv@mail.ru,
Мазаник Евгений Васильевич[1] — канд. техн. наук,
директор по аэрологической безопасности
подземных горных работ, e-mail: mazanikev@suek.ru,
Садов Анатолий Петрович[1] — канд. техн. наук, директор Управления
дегазации и утилизации метана, e-mail: Sadovap@suek.ru,
Хаутиев Адам Магомет-Баширович[1] — канд. техн. наук,
инженер-технолог Управления дегазации и утилизации метана,
e-mail: khautievam@suek.ru,
[1] АО «СУЭК-Кузбасс».
Для контактов: Сластунов С.В., e-mail: slastunovsv@mail.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

S.V. Slastunov, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Mining Institute,
National University of Science and Technology «MISiS»,
119049, Moscow, Russia, e-mail: slastunovsv@mail.ru,
E.V. Mazanik[1], Cand. Sci. (Eng.), Director of the Aerological Safety
of Underground Mining, e-mail: mazanikev@suek.ru,
A.P. Sadov[1], Cand. Sci. (Eng.),
Director of the Office of Degassing and Methane Utilization,
e-mail: Sadovap@suek.ru,
A.M.-B. Khautiev[1], Cand. Sci. (Eng.), Process Engineer,
e-mail: khautievam@suek.ru,
[1] Joint-stock company «SUEK-Kuzbass», Leninsk-Kuznetsky, Russia.
Corresponding author: S.V. Slastunov, e-mail: slastunovsv@mail.ru.

Получена редакцией 25.07.2019; получена после рецензии 25.08.2019; принята к печати 20.01.2020.
Received by the editors 25.07.2019; received after the review 25.08.2019; accepted for printing 20.01.2020.