ГИАБ. Горный информационно-аналитический бюллетень /
MIAB. Mining Informational and Analytical Bulletin, 2021;(5):134-145
ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ / ORIGINAL PAPER

УДК 622.817.47 DOI: 10.25018/0236_1493_2021_5_0_134

ПОИСКОВЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РАБОТЫ ПО ДОБЫЧЕ МЕТАНА ИЗ ВЫРАБОТАННЫХ ПРОСТРАНСТВ УГОЛЬНЫХ ШАХТ

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

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

Аннотация: При закрытии шахт в старых выработанных пространствах остается значительное количество метана. По прогнозам, объемы метана в выработанных пространствах угольной шахты в несколько раз превышают объем газа, выделившегося при добыче угля. В РФ нет опыта добычи метана из отработанных полей. Мировая практика подтверждает экономическую эффективность извлечения газа из закрытых шахт. Разработке технологии добычи метана из оставленных целиков угля на отработанных ранее выемочных участках и из старых выработанных пространств посвящена настоящая статья. Обоснованы точки заложения газодобывающих скважин в целике выемочного участка 24–61 шахты им. С.М. Кирова, отработанного несколькими годами ранее. Перед технологией гидрорасчленения целиков через скважины, пробуренные с поверхности, ставилась задача не только раскрыть трещины в целике для извлечения из угля сорбированного в нем метана, но и сбиться с выработанными пространствами для извлечения из них метана, находящегося в основном в свободном состоянии. Приведены фактические данные по реализованным параметрам гидродинамического воздействия на трех газодобывающих скважинах ГРП. Выявлен режим гидровоздействия на угольный пласт в условиях оставленного целика угля и расположенного вблизи выработанного пространства. Установлено, что технология ГРП с поверхности с апробированными параметрами позволяет обеспечивать сбойку скважины ГРП с выработанными пространствами для извлечения метана из последних, а также непосредственно из оставленных целиков. Проведенные работы имеют существенное экологическое значение, так как могут эффективно предотвращать выделение метана на поверхность на полях действующих, ликвидированных или закрытых шахт, что предусмотрено концепцией обеспечения метанобезопасности угольных шахт России.

Ключевые слова: экологические проблемы, выделение метана на поверхность, участки угольных пластов вблизи с выработанными пространствами, добыча метана скважинами с поверхности, гидродинамическое воздействие, технология извлечения метана из целиков и выработанных пространств, установленный режим закачки воды, достоверные экспериментальные данные.

Для цитирования: *Сластунов С. В., Мазаник Е. В., Садов А. П., Хаутиев А. Б.-М., Комиссаров И. А.* Поисковые экспериментальные работы по добыче метана из выработанных пространств угольных шахт // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 5. – С. 134–145. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_5_0_134.

© С.В. Сластунов, Е.В. Мазаник, А.П. Садов, А.Б.-М. Хаутиев, И.А. Комиссаров. 2021.

Pilot-scale studies into methane recovery from mined-out voids of coal mines

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

[1] Mining Institute, National University of Science and Technology «MISiS», Moscow, Russia
[2] SUEK-Kuzbass JSC, 652507, Leninsk-Kuznetsky, Russia

Abstract: After mine closure, methane remains in high quantities in mined-out roadways. By estimates, the volumes of methane in mined-out voids in coal mines exceed by many times the volumes of gas released during coal mining. Russia has no experience in methane recovery from mined-out fields. International practices prove efficient methane extractability from closed mines. This article is devoted to the technology of methane production from coal pillars left in mined-out extraction panels and from mined-out longwalls. The location points of gas-producing wells in a pillar in longwall 24-61 mined-out a few years earlier in Kirov Mine are validated. Hydraulic splitting of pillars from boreholes drilled from ground surface was aimed to open cracks in the pillars in order to extract methane adsorbed in coal and, moreover, to connect the opened cracks with the mined-out void of longwalls to recover free methane from them. The actual data on hydraulic treatment of the old coal pillar and nearby mined-out longwall are presented. It is proved that the hydraulic splitting technology through surface boreholes and at the tested parameters ensures connection of the hydraulic splitting cracks with the mined-out voids in mines and enables methane recovery from the voids and coal pillars. The technology is eco-friendly as it can effectively prevent methane emissions on ground surface above abandoned or closed coal mines, which totally conforms with the methane safety strategy of coal mining in Russia.

Key words: environmental problems, methane emission on ground surface, coal seam areas nearby mined-out voids, methane recovery from surface boreholes, hydrodynamic treatment, technology of methane recovery from pillars and mined-out voids, stable water injection mode, reliable experimental data.

For citation: Slastunov S. V., Mazanik E. V., Sadov A. P., Khautiev A. M.-B., Komissarov I. A. Pilot-scale studies into methane recovery from mined-out voids of coal mines. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021;(5):134-145. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_5_0_134.

Введение

Работы по извлечению метана из выработанных пространств угольных шахт или отработанных шахтных полей и выемочных участков имеют существенное экологическое значение, так как могут эффективно предотвращать выделение метана на поверхность в шахтерских регионах на полях действующих, ликвидированных или закрывающихся шахт, что предусмотрено концепцией обеспечения метанобезопасности угольных шахт России.

Известно, что можно выделить три стадии извлечения метана, соответствующие принципиально отличающимся типам напряженно-деформированного состояния массива [1]:

1 — период проектирования и строительства шахты, соответствующий добыче метана из неразгруженного массива;

2 — период эксплуатации (развитие горных работ, освоение проектной мощности и затухание) до полной отработки запасов или закрытия шахты по иным

причинам; эта стадия соответствует условиям извлечения метана из разгруженного массива;

3 — период от начала изоляции отдельных выемочных полей и закрытия шахты в целом до полного газового истощения подработанной толщи; этот период соответствует условиям извлечения метана из старых выработанных пространств.

При закрытии шахт в старых выработанных пространствах остается значительное количество метана. По прогнозам, объемы метана, содержащегося в выработанных пространствах шахты, в 2—3 раза превышают объемы газа, выделившегося при добыче угля. В нашей стране опыт добычи метана на отработанных полях практически отсутствует, но мировая практика подтверждает экономическую эффективность извлечение газа из закрытых шахт, что подтверждает огромные масштабы запасов метана, находящегося в выработанных пространствах:

• в Австралии из шахты «Бэлмайн», закрытой после взрыва в 1942 г., в течение 25 лет каптировали 365 млн м^3 (средний дебит 33,5 м^3/мин) газа, содержащего 50—60% метана;

• в Сааре (Германия) из закрытой в 1959 г. шахты «Санта-Барбара» до 1985 г. извлечено 265 млн м^3 (средний дебит 20,2 м^3/ мин);

• с конца 70-х годов во Франции (Нор и Па-де-Кале) проводились работы по извлечению метана из отработанных полей угольных шахт. За период около трех лет каптировано 9 млн м^3 (средний дебит составил 6,5 м^3/мин, концентрация метана — до 70%).

Разработке технологии добычи метана из оставленных целиков угля на отработанных ранее выемочных участках и старых выработанных пространств посвящена настоящая статья.

Применение технологии гидрорасчленения на недегазированные целики угля пласта Болдыревский

Горными и геолого-разведочными работами шахты имени С.М. Кирова АО «СУЭК-Кузбасс» выявлено и прослеже-

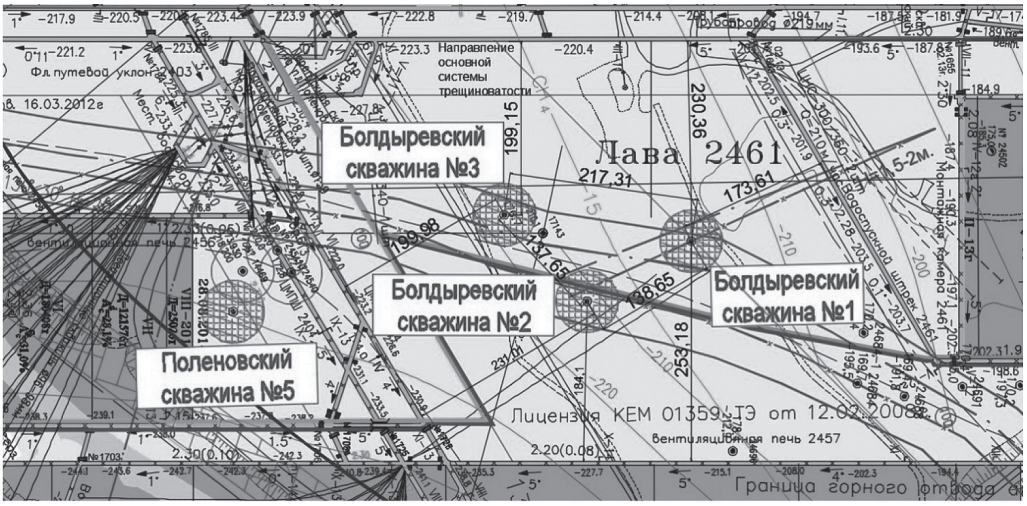

Рис. 1. Расположение скважин ГРП/Ц в целике участка 24—61 с указанием расстояний до горных выработок

Fig. 1. Location of HS/C boreholes in pillar in longwall 24-61 and distances to roadways (HS–hydraulic splitting; C—connection)

но крупное для Ленинского района дизъюнктивное нарушение — Восточно-Камышанский взброс с амплитудой 15—20 м. В связи с этим на выемочном участке 24—61 при его отработке был оставлен достаточно большой целик, граничащий с выработанными пространствами выемочных участков 24—61 и 24—57 (рис. 1). В связи с проведенными добычными работами изменились газодинамические свойства углегазоносного массива, в том числе и оставленной части угольного пласта. В определенной степени изменилась его газопроницаемость, пластовое давление и ряд других свойств и характеристик состояния угольного пласта, которые для оценки перспектив добычи метана целесообразно достоверно установить на базе использования современных методов и рабочих методик [2—7].

В связи с вышеизложенной горно-геологической и горнотехнической ситуацией, имевшей место на ранее отработанном выемочном участке 24—61, было предложено заложить несколько скважин с поверхности для гидродинамического воздействия на пласт угля в районе оставленного целика для оценки технологических возможностей использования технологии заблаговременной дегазации угольных пластов скважинами с поверхности с гидрорасчленением последних для целей добычи метана из не дегазированных целиков угля пласта Болдыревский и прилегающих к ним выработанных пространств участков 24—61 и 24—57, в которых могли скопиться значимые объемы газа. В этом случае перед технологией гидрорасчленения ставится задача не только раскрыть трещины в целике для извлечения из угольного пласта сорбированного в нем метана, но и сбиться с выработанными пространствами для извлечения их них метана, находящегося в основном в свободном состоянии.

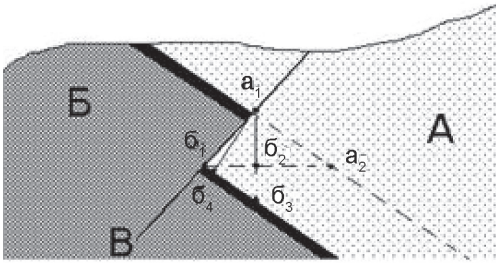

Рис. 2. Элементы взброса по определению
Fig. 2. Elements of reverse for determining

Известно, что взбросами называются разрывные нарушения, в которых поверхность разрыва наклонена в сторону расположения приподнятых пород.

Во взбросах различаются следующие элементы (рис. 2): опущенное, или лежачее, крыло (А), приподнятое, или висячее, крыло (Б), сместитель (В), угол наклона сместителя (α), амплитуда по сместителю ($а_1$–$б_1$), вертикальная амплитуда ($а_1$–$б_2$), горизонтальная амплитуда, или перекрытие ($б_1$–$б_2$), стратиграфическая амплитуда ($а_1$–$б_4$), вертикальный отход ($а_1$–$б_3$), горизонтальный отход ($б_1$–$а_2$).

Скважины 1 ГРП/Ц и 3 ГРП/Ц были заложены на лежащее крыло (ЛК), где, в общем случае, обычно содержится больше газа и наиболее сильно наблюдаются газодинамические явления, в частности, выбросы угля, породы и газа. Скважина 2 ГРП/Ц для сравнения была заложена на висячее крыло (ВК). Потенциально более перспективными в части ожиданий значимых дебитов газа являются скважину 1 ГРП/Ц и 3 ГРП/Ц, где более легкий метан, предположительно, должен был скапливаться, не имея возможности дальнейшей миграции по направлению к дневной поверхности.

Сначала гидрорасчленение угольного пласта Болдыревский на участке 24—61 провели через скважину 1 ГРП/Ц и 3 ГРП/Ц, затем через скважину 2 ГРП/Ц. Эта очередность была обоснована следующим образом. Известно, что в зоне гидрорасчленения в начальный период

Рис. 3. Выход на режим при реализации ГРП на скважине 1 ГРП/Ц
Fig. 3. HS mode in HS/C borehole 1

после обработки имеют место значительные напряжения, которые предопределяют пониженную проницаемость угольного пласта [8, 9]. Эта зона служит определенным препятствием на пути развития трещинообразования при гидрорасчленении угольного пласта из соседних скважин. Проведение гидрорасчленения пласта Болдыревский после скважину 1 ГРП/Ц через скважину 2 ГРП/Ц создало бы препятствия для сбойки скважину 3 ГРП/Ц с выработанным пространством участка 24 — 57, откуда предположительно ожидается основное извлечение газа. Это предопределило очередность гидрообработок угольного пласта Болдыревский, а именно следующую: 1 ГРП/Ц — 3 ГРП/Ц — 2 ГРП/Ц.

Согласно программе и методике проведения экспериментальных испытаний технологии ГРП в указанных условиях темп закачки рабочей жидкости должен плавно повышаться по зависимости:

$$q_{ро}(t) = 5 \cdot 10^{-4}\, t \text{ м}^3/\text{с} \qquad (1)$$

где t — время от начала закачки, мин ($0 \leqslant t \leqslant 0{,}4 \times Q$); Q — общий объем закачки рабочей жидкости, м³.

Раскрытие трещин ожидается при давлении:

$$P^{Н}_{з} = 0{,}012 \times \cdot H \text{ МПа} \qquad (2)$$

где H — глубина залегания пласта, м.

Давление на забое скважину к концу процесса гидрорасчленения должно составить:

$$P^{О}_{з} = 0{,}025 \times \cdot H \text{ МПа.} \qquad (3)$$

Для условий целика пласта Болдыревский на участке 24 — 61 расчетная величина $P^{О}_{з}$ составляла ориентировочно 80 — 100 атм.

Гидродинамическое воздействие на угольный пласт через скважину 1 ГРП/Ц было произведено 16.08.2019. Было принято решение провести закачку темпом в 2 раза быстрее (рис. 3), чем при проведении гидрорасчленения в типовом варианте в соответствии с [10].

Ввиду близкого расположения горных выработок от скважины 1 ГРП/Ц и выработанных пространств объем закачки был ограничен величиной в 500 м³.

Основные параметры ГРП на скважине 1 ГРП/Ц представлены на рис. 4.

Общее время обработки составило 2 ч 07 мин 44 с. Закачка велась непрерывно.

Темп закачки — 0,34 — 6,6 м³/мин (5,6 — 110 л/с).

Параметры проведения гидрообработок на скважинах в предохранительном целике участка 24—61
Data of hydraulic treatment via boreholes in safety pillar in longwall 24-61

Наименование	Параметры скважин		
	1 ГРП/Ц	**3 ГРП/Ц**	**2 ГРП/Ц**
Проектная глубина, м	400	400	410
Дата проведения ГРП	16.08.2019	20.09.2019	26.09.2019
Время закачки	2 ч 07 мин	2 ч 56 мин	2 ч 25 мин
Темп закачки, л/с	110	100,8	106,75
Давление, бар	82,6 (макс.)	288,9 (макс.); 117 (установившееся)	94,66 (макс.)
Объем закачки, м^3	500	450	555

Максимальное давление — 82,6 бар. К моменту окончания закачки давление составило 81,5 бар.

Объем закачки — 500 м^3.

Во время проведения гидрорасчленения пласта водопроявлений в шахте в фланговом путевом уклоне 24—03 не наблюдалось. Выкопировка из плана горных работ с указанием расстояний до действующих выработок и выработанного пространства, а также направления основной системы трещиноватости была 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°.

Параметры проведения ГРП через скважины 1, 2, 3 ГРП/Ц представлены в таблице.

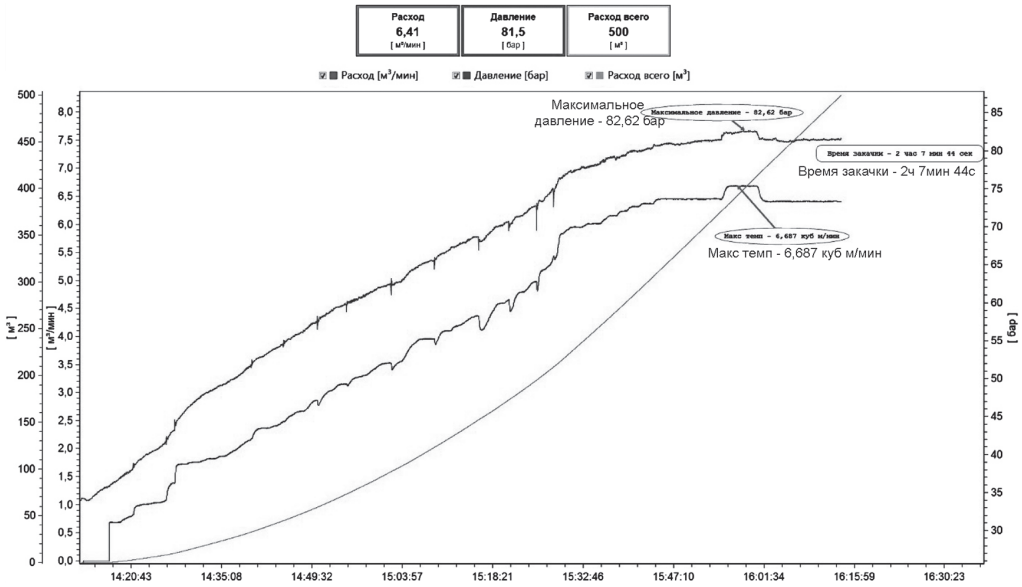

Рис. 4. График реализации ГРП на скважине 1 ГРП/Ц в предохранительном целике участка 24—61
Fig. 4. HS schedule in HS/C borehole 1 in safety pillar in longwall 24-61

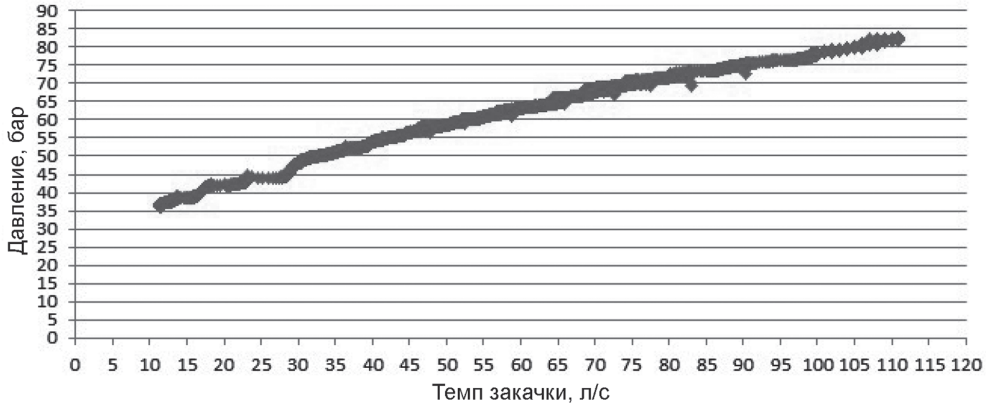

Рис. 5. Выявление режима гидровоздействия на угольный пласт в условиях целика на участке 24 – 61 на примере скважины 1 ГРП/Ц

Fig. 5. Determination of hydraulic impact on coal pillar in longwall 24–61 in terms of HS/C borehole 1

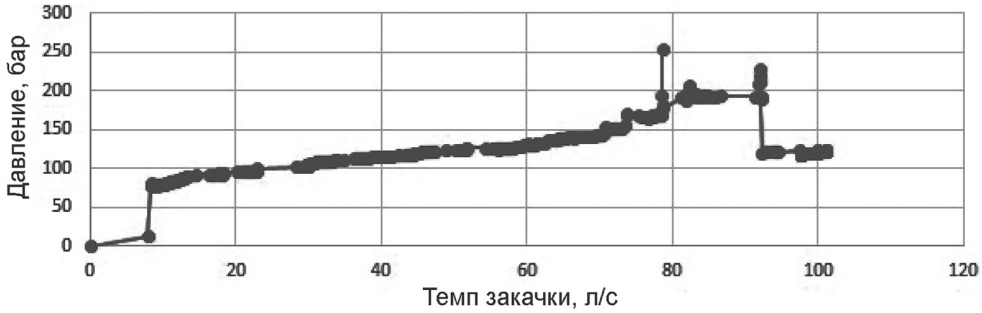

Рис. 6. Выявление режима гидровоздействия на угольный пласт в условиях целика на участке 24 – 61 на примере скважины 3 ГРП/Ц

Fig. 6. Determination of hydraulic impact on coal pillar in longwall 24–61 in terms of HS/C borehole 3

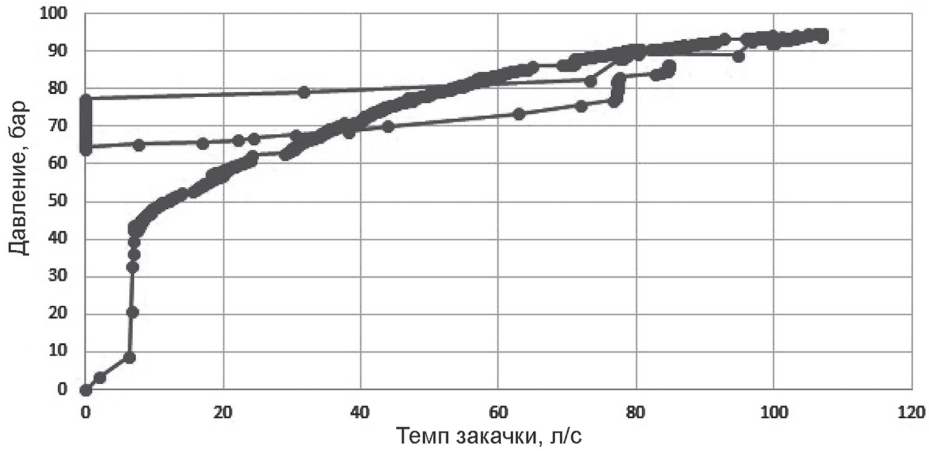

Рис. 7. Выявление режима гидровоздействия на угольный пласт в условиях целика на участке 24 – 61 на примере скважины 2 ГРП/Ц

Fig. 7. Determination of hydraulic impact on coal pillar in longwall 24–61 in terms of HS/C borehole 2

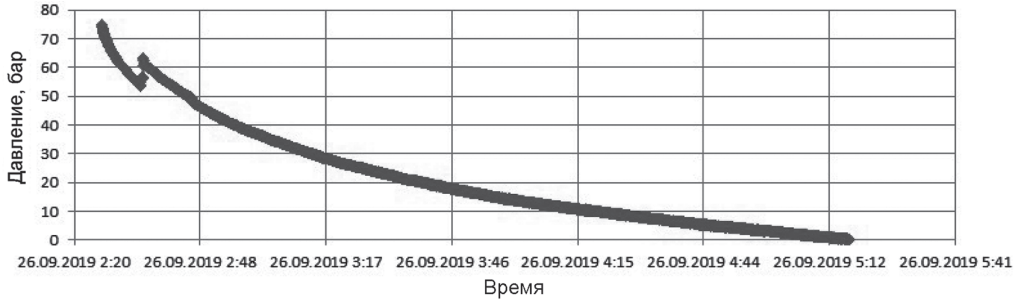

Рис. 8. Темп падения давления в скважине 2 ГРП/Ц после остановки закачки
Fig. 8. Pressure decline rate in HS/C borehole 2 after injection cessation

Полученные предварительные результаты свидетельствуют о том, что, чем ближе скважина к оси нарушения (скважина 3 ГРП/Ц), тем выше давление гидрообработки. Аномальные пики давления в скважине 3 ГРП/Ц возможно связаны с напряженным и перемятым массивом с породными включениями в зоне геологического нарушения.

Исследовался вопрос о реализуемом режиме гидровоздействия (ГВ) на угольный пласт Болдыревский в районе оставленного предохранительного целика. Режим ГВ целесообразно идентифицировать по характеру кривой изменения давления нагнетания воды от темпа нагнетания [11]. Для скважины 1 ГРП/Ц эта зависимость представлена на рис. 5, для скважины 3 ГРП/Ц — на рис. 6, для скважины 2 ГРП/Ц — на рис. 7. По предварительным соображениям можно предположить, что на всех трех скважинах ГРП/Ц имела место сбойка с выработанным пространством лавы 24—57.

Это косвенно также подтверждается на скважине 1 ГРП/Ц тем, что максимальное давление было относительно небольшим около 80 бар и достаточно быстро (за полчаса) снизилось после окончания закачки до 40 бар. Через несколько часов давление составило уже 14 бар. Аналогично, на скважине 2 ГРП/Ц максимальное давление составило 94 бар и быстро снизилось до 54 бар после прекращения закачки (рис. 8). В целом после ГВ на скважине 2 ГРП/Ц давление снизилось практически до 0 бар за 3 ч.

За наличие сбойки скважин ГРП/Ц с выработанным пространством также говорят графики зависимости давления закачки от темпа закачки (рис. 5—7), на которых стабилизации давления в процессе закачки не просматривается. Видимо, в основном имел место режим фильтрации (скважина 1 ГРП/Ц и 2 ГРП/Ц) или режим фильтрации с микрогидроразрывами (скважина 3 ГРП/Ц). Последние появлялись при высоких темпах нагнетания (более 80 л/с).

За наличие сбойки также говорит то, что уровень воды в скважинах ГРП/Ц на целике достаточно быстро снижается, вода уходит, что не характерно для типовых дегазационных скважин ГРП [8].

Результаты применения технологии ГВ

Визуальный осмотр скважин и замер концентрации газа прибором «Спутник» был проведен 08.10.2019. Количественная оценка дебита газа из скважин не проводилась.

Скважина 1 ГРП/Ц была закрыта на момент измерения, установлен манометр (водяной, 600 бар). Давление на приборе 0 бар. После открытия скважину для измерения газа отмечен сравни-

тельно большой дебит газа с концентрацией 80 — 100% CH_4. Газ выходит без взвешенных частиц воды, скважина сухая.

Скважина 2 ГРП/Ц в открытом состоянии, уровня воды в скважине визуально не наблюдается. Из скважину истекает газ, измеренная концентрация CH_4 в смеси 80 — 90%.

Скважина 3 ГРП/Ц закрыта через переходник и установлен кран с выходом под водяной манометр на 600 бар. Давление на приборе 0 бар. После открытия скважину для измерения газа происходит обратное засасывание воздуха в скважину. Скважина была закрыта.

Скважины ГРП/Ц при существенном дебите и концентрации газа планировалось подключить к утилизационному комплексу шахты им. С.М. Кирова.

Можно сделать некоторые предварительные выводы.

Технология ГРП с поверхности с апробированными параметрами позволяет обеспечивать сбойку целика угля с выработанными пространствами для извлечения метана непосредственно из оставленного целика и выработанных пространств.

В разработанном и апробированном варианте режим реализованного гидродинамического воздействия можно идентифицировать скорее не как режим гидрорасчленения, а как режим нелинейной фильтрации, причем в некоторых случаях с микрогидроразрывами.

Потенциальная эффективность апробированной технологии добычи угольного метана должна определяться по динамике газовыделения и общего объема извлеченного метана из скважин ГРП, причем возможность извлечения метана непосредственно из оставленного целика оценивается на базе экспериментальных данных исследований свойств и состояния угля в зонах дегазации по известным указанным выше методикам.

Создана экспериментальная основа для выявления оптимальных вариантов заложения скважин ГВ для целей эффективного извлечения метана, в частности, в лежачем или висячем боках геологического нарушения.

Обоснована очередность гидрообработок угольных целиков для обеспечения эффективных гидросбоек.

Перспективы совершенствования технологии

Отмечается целесообразность исследования технологического варианта извлечения метана из выработанных пространств путем бурения скважин с поверхности непосредственно на старое выработанное пространство как без активных воздействий на частично слежавшийся углегазоносный массив, так и с применением их, например, в виде импульсных гидродинамических воздействий. Подобный проект для шахты «Капитальная» был в 2006 — 2008 гг. разработан МГГУ по заказу Росэнерго [12, 13].

Более представительные выводы будут сделаны после получения и обработки фактических данных по динамики газовыделения метана из скважин ГРП/Ц, которые позволят выполнить корректную технико-экономическую оценку работ по применению технологии заблаговременной дегазации угольных пластов через скважины, пробуренные с поверхности, в качестве технологии добычи метана из выработанных пространств угольных шахт.

Необходимо отметить, что данные работы имеют существенное экологическое значение, так как они могут эффективно предотвращать выделение метана на поверхность на полях действующих, ликвидированных или закрытых шахт, что предусмотрено концепцией обеспечения метанобезопасности угольных шахт России.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Концепция* обеспечения метанобезопасности угольных шахт России на 2006—2010 гг. — М.: Изд-во МГГУ, 2006. — 17 с.

2. *Baisheng Nie, Xianfeng Liu, Shaofei Yuan, Boqing Ge, Wenjie Jia.* Sorption charachteristics of methane among various rank coals: impact of moisture // Adsorption. 2016, vol. 22, no. 3, pp. 315–325.

3. *Sander R., Pan Z., Connell L. D.* Laboratory measurement of low permeability unconventional gas reservoir rocks: a review of experimental methods // Journal of Natural Gas Science and Engineering. 2017, vol. 37, pp. 248—279.

4. *Joseph J., Kuntikana G., Singh D. N.* Investigations on gas permeability in porous media // Journal of Natural Gas Science and Engineering. 2019, vol. 64, pp. 81—92.

5. *Huang Q., Wu B., Liu S., Wang G., Zhang Y.* Coalbed methane reservoir stimulation using guar-based fracturing fluid: a Review // Journal of Natural Gas Science and Engineering. 2019, vol. 66, pp. 107—125.

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

7. *Каркашадзе Г. Г., Коликов К. С., Мазаник Е. В., Сластунов С. В., Пащенков П. Н.* Патент РФ на изобретение № 2630343. Способ определения пластового давления метана и сорбционных параметров угольного пласта. 07.09.2017.

8. *Каркашадзе Г. Г., Хаутиев А. М-Б.* Моделирование процесса дегазации угольного пласта через скважины с учетом геомеханических напряжений // Горный информационно-аналитический бюллетень. —2015. — № 2. — С. 235—243.

9. *Каркашадзе Г. Г., Мазаник Е. В., Понизов А. В.* Моделирование процесса гидравлической обработки и дегазации выбросоопасных угольных пластов при столбовой системе разработки с высокими нагрузками на очистной забой // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2017. — СВ 1. — С. 90—101.

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

11. *Сластунов С. В., Мешков А. А., Мазаник Е. В., Комиссаров И. А.* Анализ режимов нагнетания рабочей жидкости при применении технологии подземного гидроразрыва // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2018. — № 10. — С. 110—117. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-10-0-110-117.

12. *Пучков Л. А., Сластунов С. В., Каркашадзе Г. Г., Коликов К. С., Борисенко А. В.* Патент РФ на изобретение № 2393353. Способ извлечения метана на полях ликвидированных угольных шахт. 2010. Бюл. № 18.

13. *Борисенко А. В.* Обоснование параметров заложения метанодобывающих скважин в отработанные горные блоки ликвидированной шахты «Капитальная» / Сборник научных трудов: Создание технологий извлечения и использования ресурсов метана угольных пластов на шахтных полях. — М.: МГГУ, 2006. — С. 54—61. ГИАБ

REFERENCES

1. *Kontseptsiya obespecheniya metanobezopasnosti ugol'nykh shakht Rossii na 2006—2010 gg.* [The Concept of ensuring methane safety of coal mines of Russia for 2006—2010], Moscow, Izd-vo MGGU, 2006, 17 p. [In Russ].

2. Baisheng Nie, Xianfeng Liu, Shaofei Yuan, Boqing Ge, Wenjie Jia. Sorption charachteristics of methane among various rank coals: impact of moisture. *Adsorption.* 2016, vol. 22, no. 3, pp. 315–325.

3. Sander R., Pan Z., Connell L. D. Laboratory measurement of low permeability unconventional gas reservoir rocks: a review of experimental methods. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*. 2017, vol. 37, pp. 248—279.

4. Joseph J., Kuntikana G., Singh D. N. Investigations on gas permeability in porous media. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*. 2019, vol. 64, pp. 81—92.

5. Huang Q., Wu B., Liu S., Wang G., Zhang Y. Coalbed methane reservoir stimulation using guar-based fracturing fluid: a Review. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*. 2019, vol. 66, pp. 107—125.

6. Yutyaev E. P., Sadov A. P., Meshkov A. A., Khautiev A. M., Taylakov O. V., Utkaev E. A. Estimation of coal filtration properties in thermodynamic tests of degassing formation wells. *Ugol'*. 2017, no. 11, pp. 24—29. [In Russ].

7. Karkashadze G. G., Kolikov K. S., Mazanik E. V., Slastunov S. V., Pashchenkov P. N. *Patent RU 2630343*. 07.09.2017. [In Russ].

8. Karkashadze G. G., Khautiev A. M.-B. Modeling of the process of coal seam degassing through wells taking into account geomechanical stresses. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2015, no. 2, pp. 235—243. [In Russ].

9. Karkashadze G. G., Mazanik E. V., Ponizov A. V. Modeling of the process of hydraulic treatment and degassing of outburst-hazardous coal seams in a pillar development system with high loads on the treatment face. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2017. Special edition 1, pp. 90—101. [In Russ].

10. *Vremennoe rukovodstvo po zablagovremennoy podgotovke shakhtnykh poley k effektivnoy razrabotke skvazhinami s poverkhnosti s pnevmogidrovozdeystviem na svitu ugol'nykh plastov* [Temporary guidance on the advance preparation of mine fields for effective development of wells from the surface with pneumohydric action on the formation of coal seams], Moscow, MGI, 1991, 92 p. [In Russ].

11. Slastunov S. V., Mazanik E. V., Meshkov A. A., Komissarov I. A. Breakdown fluid injection modes in underground hydraulic fracturing. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2018, no. 10, pp. 110—117. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-10-0-110-117.

12. Puchkov L. A., Slastunov S. V., Karkashadze G. G., Kolikov K. S., Borisenko A. V. *Patent RU 2393353*. 2010. [In Russ].

13. Borisenko A. V. Substantiation of the parameters of laying methane-producing wells in the spent mining blocks of the liquidated mine «Kapitalnaya». *Sbornik nauchnykh trudov: Sozdanie tekhnologiy izvlecheniya i ispol'zovaniya resursov metana ugol'nykh plastov na shakhtnykh polyakh* [Collection of scientific works: Creation of technologies for extraction and use of coalbed methane resources in mine fields], Moscow, MGGU, 2006, pp. 54—61.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Сластунов Сергей Викторович — д-р техн. наук, профессор,
ГИ НИТУ «МИСиС», e-mail: slastunovsv@mail.ru,
Мазаник Евгений Васильевич — канд. техн. наук,
советник генерального директора, АО «СУЭК-Кузбасс»,
e-mail: mazanikev@suek.ru,
Садов Анатолий Петрович[1] — канд. техн. наук, директор
e-mail: sadovap@suek.ru,
Хаутиев Адам Магомет-Баширович[1] — канд. техн. наук,
инженер-технолог, e-mail: khautievam@suek.ru,
Комиссаров Игорь Анатольевич[1] — заместитель главного инженера
e-mail: komissarovia@suek.ru,
[1] Управление дегазации и утилизации метана, 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, Cand. Sci. (Eng.),
Advisor to General Director, SUEK-Kuzbass JSC,
652507, Leninsk-Kuznetsky, Russia, e-mail: mazanikev@suek.ru,
A.P. Sadov[1], Cand. Sci. (Eng.), Director,
e-mail: sadovap@suek.ru,
A.M.-B. Khautiev[1], Cand. Sci. (Eng.),
Engineer-Technologist, e-mail: khautievam@suek.ru,
I.A. Komissarov[1], Deputy Chief Engineer,
e-mail: komissarovia@suek.ru,
[1] Methane Degassing and Utilization Department,
SUEK-Kuzbass JSC, 652507, Leninsk-Kuznetsky, Russia.
Corresponding author: S.V. Slastunov, e-mail: slastunovsv@mail.ru.

Получена редакцией 19.01.2021; получена после рецензии 22.02.2021; принята к печати 10.04.2021.
Received by the editors 19.01.2021; received after the review 22.02.2021; accepted for printing 10.04.2021.

РУКОПИСИ, ДЕПОНИРОВАННЫЕ В ИЗДАТЕЛЬСТВЕ «ГОРНАЯ КНИГА»

РЕМОНТЫ И НАПРАВЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ЦЕХОВ ОБОГАТИТЕЛЬНЫХ ФАБРИК

(№ 1235/05-21 от 12.03.2021; 8 с.)

Герасимов Анатолий Игоревич[1] — канд. техн. наук, доцент,
Бибиков Максим Владимирович[1] — магистрант,
[1] НИТУ «МИСиС», e-mail: mggu.eegp@mail.ru.

На основе нормативных документов выполнен анализ существующего порядка эксплуатации и организации деятельности по обслуживанию электродвигателей. Предложено осуществление ремонтных работ в цехах обогатительных фабрик на основе учета технического состояния асинхронных электродвигателей. Модель технического диагностирования с применением сигнатурного анализа в ходе технического обслуживания. Дана оценка возможности использования нейронных сетей.

Ключевые слова: планово-предупредительные ремонты, асинхронные электродвигатели, техническая диагностика, дефекты, сигнатурный анализ, нейронные сети.

REPAIRS AND DIRECTIONS OF TECHNICAL DIAGNOSTICS OF ASYNCHRONOUS ELECTRIC MOTORS IN THE SHOPS OF PROCESSING PLANTS

M.V. Bibikov[1], Master's Degree Student,
A.I. Gerasimov[1], Cand. Sci. (Eng.), Assistant Professor
[1] National University of Science and Technology «MISiS», 119049, Moscow, Russia, e-mail: mggu.eegp@mail.ru.

On this article are presented an analysis of the current rules and procedures for the operation and organization of maintenance work for electric motors, using into account the regulatory and technical documentation. It is proposed to carry out repair work in the shops of concentrating factories based on taking into account the technical condition of asynchronous electric motors. Technical diagnostics model using signature analysis during maintenance. The possibility of using neural networks is evaluated.

Key words: scheduled preventive maintenance; asynchronous electric motors; technical diagnostics; defects; signature analysis; neural networks.