

## РЕЗУЛЬТАТЫ АПРОБАЦИИ ТЕХНОЛОГИИ ГИДРОРАСЧЛЕНЕНИЯ УГОЛЬНОГО ПЛАСТА ЧЕРЕЗ СКВАЖИНЫ С ПОВЕРХНОСТИ НА ШАХТЕ КИРОВА

С.В. Слостунов<sup>1</sup>, А.П. Садов<sup>2</sup>, А.М.-Б. Хаутиев<sup>2</sup>, И.А. Комиссаров<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ГИ НИТУ «МИСиС», Москва, Россия, e-mail: slastunovsv@mail.ru

<sup>2</sup> АО «СУЭК-Кузбасс», Ленинск-Кузнецкий, Россия

**Аннотация:** Приведены результаты предварительного анализа применения комплексной технологии дегазации разрабатываемого угольного пласта Болдыревский на шахте им. С.М. Кирова. Дегазация была проведена на отработанном в настоящее время выемочном участке 24-63 и включала в себя гидрорасчленение пласта через скважины, пробуренные с поверхности (ГРП); гидрорасчленение его через скважины, пробуренные из подготовительных выработок (ПодзГРП), а также стандартную пластовую дегазацию (ППД) восстающими и нисходящими скважинами, пробуренными из подготовительных выработок в частично дезинтегрированную гидрорасчленением область дегазируемого пласта. Основное внимание уделено технологии ГРП, впервые примененной на шахтах Кузбасса для целей дегазационной подготовки разрабатываемого угольного пласта к интенсивной и безопасной отработке. Подтверждено, что на скважинах выемочного участка 24-63 при гидродинамическом воздействии был реализован процесс гидрорасчленения угольного пласта с циклическими гидроразрывами. Была получена первичная оценка эффективности апробированной технологии. В процессе проведенных исследований сравнивались зоны выемочного участка 24-63, где предположительно имело место влияние скважин ГРП и зоны этого же участка, где оно практически отсутствовало. На момент написания статьи средняя нагрузка в лаве 24-63 по всем зонам ГРП была на 16% выше, чем в зонах сравнения. Остановки на проветривание за один цикл добычи по всем зонам ГРП на 15% меньше, относительная газообильность по всем зонам ГРП на 12% ниже, что также предварительно подтверждает техническую эффективность применение технологии гидрорасчленения угольного пласта для целей дегазации. Показаны направления совершенствования технологии.

**Ключевые слова:** заблаговременная дегазация, комплексная дегазационная подготовка угольного пласта, скважины с поверхности, гидрорасчленение пласта, методология оценки эффективности, режим гидродинамического воздействия, гидрорасчленение с циклическими гидроразрывами, эффективность комплексной пластовой дегазации, повышение нагрузок на очистной забой, снижение газообильности лавы и простоев, эффект набухания угля, основные технологические выводы и рекомендации, направления совершенствования технологии.

**Для цитирования:** Слостунов С. В., Садов А. П., Хаутиев А. М.-Б., Комиссаров И. А. Результаты апробации технологии гидрорасчленения угольного пласта через скважины с поверхности на шахте Кирова // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2022. – № 11. – С. 121–132. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2022\_11\_0\_121.

---

## The results of testing the technology of hydraulic fracturing of the coal seam through wells from the surface at the Kirov mine

S.V. Slastunov<sup>1</sup>, A.P. Sadov<sup>2</sup>, A.M.-B. Khautiev<sup>2</sup>, I.A. Komissarov<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Mining Institute, National University of Science and Technology «MISiS», Moscow, Russia, e-mail: slastunovsv@mail.ru

<sup>2</sup> JSC «SUEK-Kuzbass», Leninsk-Kuznetsky, Russia

---

**Abstract:** The article presents the results of a preliminary analysis of the application of complex degassing technology of the Boldyrevsky coal seam under development at the Kirov mine. Degassing was carried out at the currently used excavation site 24-63 and included hydraulic fracturing of the formation through wells drilled from the surface (FRAC); hydraulic fracturing it through wells drilled from preparatory workings (PodzGRP), as well as standard reservoir degassing (PPD) by rising and descending wells drilled from preparatory workings into partially disintegrated hydraulic separation is the area of the degassed reservoir. The main attention is paid to the hydraulic fracturing technology, first applied at the Kuzbass mines for the purposes of degassing preparation of the coal seam under development for intensive and safe mining. It is confirmed that the process of hydraulic fracturing of the coal seam with cyclic hydraulic fracturing was implemented at the wells of the excavation site 24-63 under hydrodynamic influence. An initial assessment of the effectiveness of the tested technology was obtained. In the course of the conducted studies, the zones of the excavation site 24-63, where the influence of hydraulic fracturing wells was presumably taking place, and the zones of the same site, where it was practically absent, were compared. At the time of writing, the average load in lava 24-63 for all hydraulic fracturing zones was 16% higher than in the comparison zones. Stops for airing in one production cycle for all zones of hydraulic fracturing are 15% less, the relative gas content for all zones of hydraulic fracturing is 12% lower, which also preliminarily confirms the technical effectiveness of the use of coal seam hydraulic fracturing technology for degassing purposes. The directions of technology improvement are shown.

**Key words:** advance degassing, complex degassing preparation of the coal seam, wells from the surface, hydraulic fracturing, efficiency assessment methodology, regime of hydrodynamic impact, hydraulic fracturing with cyclic fracturing, efficiency of complex reservoir degassing, increased loads on the treatment face, reduction of lava gas content and downtime, implementation of the effect of coal swelling, the main technological conclusions and recommendations, directions for improving the technology.

**For citation:** Slastunov S. V., Sadov A. P., Khautiev A. M.-B., Komissarov I. A. The results of testing the technology of hydraulic fracturing of the coal seam through wells from the surface at the Kirov mine. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2022;(11):121-132. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2022\_11\_0\_121.

---

### Актуальность исследований

На поле шахты им. С.М. Кирова ведутся поисковые исследования технологии гидрорасчленения разрабатываемого угольного пласта «Болдыревский» скважинами с поверхности, при имею-

щимся сроке дегазации менее трех лет и в условиях наличия в непосредственной близости от скважин ГРП горных выработок [1]. Делается попытка применения стандартной технологии ГРП, для решения текущих проблем сдержи-

вания производительности добычи угля газовым фактором [2]. Это важная задача, так как зачастую у шахты нет резерва времени в три и более лет на пластовую дегазацию, при этом необходимо снимать газовые ограничения непосредственно в ходе ведения основных горных работ.

Целью проводимых исследований на шахте им. С.М. Кирова является разработка технологии дегазационной подготовки интенсивно разрабатываемых угольных пластов к безопасной и эффективной отработке. Основная задача заключается в достижении требуемой эффективности пластовой дегазации в ограниченные сроки (как правило, не более 1,5–2 лет).

Натурные исследования в этом направлении велись Управлением дегазации и утилизации метана компании АО «СУЭК-Кузбасс» в 2019–21 гг. на разрабатываемом пласте «Болдыревский» поля шахты им. С.М. Кирова (выемочный участок 24-63 — скважины ГРП № 1–3, 5, 6, выемочный участок 24-64 — скважины ГРП № 7–11, выемочный участок 24-65 — скважины № 12–15). Изложим сущность, технологические особенности, предварительные выводы и разработанные рекомендации по последним по времени поисковым работам на участке 24-63, где прошедшие очистные работы позволяют определенно и более объективно говорить об эффективности применения ГРП в указанных временных и технологических ограничениях предварительной пластовой дегазации.

Особенностью указанных выше работ по комплексной пластовой дегазации является то, что гидрорасщепление низко проницаемого угольного пласта осуществлялось поэтапно. На первой стадии гидрорасщепление осуществляется через скважины, пробуренные с поверхности (ГРП) [3], на второй — через скважины, пробуренные из подготови-

тельных выработок (подземный гидроразрыв, далее ПодзГРП) [4, 5]. Представленные в настоящей статье исследования выполнены в развитие работ, подробно изложенных в [3], согласно общей Программы и методики НИР и являются их продолжением.

Работы по гидродинамическому воздействию (гидрорасщеплению или гидроразрыву) исследовались многими зарубежными [6–9] и отечественными учеными [10–12]. Исследуемая на данном этапе работ технология пластовой дегазации существенно отличается от известных работ [13, 14] спецификой освоения скважин или отсутствием освоения скважин вообще и базируется на шахтных исследованиях фильтрационных и других свойств угольного пласта [15–17], различных механизмов достижения искомого эффекта по повышению эффективности пластовой дегазации [18–20], в том числе, с использованием скважин, пробуренных с поверхности [21–22]. В работе [22] представлено обоснование выбора технологии пластовой дегазации угольных пластов для обеспечения их безопасной и интенсивной отработки на основе технологий за-благовременной дегазации.

### **Состояние работ**

В 2019 г. на выемочном участке 24-63 были проведены первые поисковые работы по гидрорасщеплению угольного пласта Болдыревский через скважины, пробуренные с поверхности. Основные параметры проведенных работ приведены в табл. 1.

Установлено, что при гидровоздействии на пласт Болдыревский с приведенными выше параметрами (указанные объем закачки, ее темп) реализуется режим гидрорасщепления с циклическими микрогидроразрывам, как показано на примере скважины 6 ГРП на рис. 1.

Таблица 1

**Основные параметры ГРП  
на выемочном участке 24-63  
Main parameters of hydraulic fracturing  
at the excavation site 24-63**

<b>Основные параметры ГРП:</b>		
<b>Скважина гидрорасщепления № 1 (глубина залегания пласта – 586 м)</b>		
Расход	л/с	102,6
Давление	бар	127
Объем закачки	м <sup>3</sup>	746
<b>Скважина гидрорасщепления № 2 (гл. 578 м)</b>		
Расход	л/с	58,5
Давление	бар	117
Объем закачки	м <sup>3</sup>	379
<b>Скважина гидрорасщепления № 3 (гл. 582 м)</b>		
Расход	л/с	108,5
Давление	бар	151
Объем закачки	м <sup>3</sup>	851
<b>Скважина гидрорасщепления № 5 (гл. 566 м)</b>		
Расход	л/с	108,3
Давление	бар	208,6
Объем закачки	м <sup>3</sup>	1200
<b>Скважина гидрорасщепления № 6 (гл. 535 м)</b>		
Расход	л/с	108,3
Давление	бар	257,1
Объем закачки	м <sup>3</sup>	2340
Примечание: здесь и далее ряд размерностей для ясности восприятия приведены не в системе СИ, а в технической системе, что более принято у специалистов.		

Отметим, что давление нагнетания воды на выемочном участке 24-63 изменялось с 117 до 257 бар, что связано, по нашему мнению, с наличием на выемочном поле тектонически напряженных и тектонически разгруженных зон [1]. Глубины залегания пласта составляли 535÷586 м. Этот разброс глубин не может объяснить столь существенное колебание давлений нагнетания воды.

Объем закачки изменялся от 379 до 2340 м<sup>3</sup>, темп нагнетания — от 58,3 до

110 л/с. Влияние этих параметров на эффективность пластовой дегазации предполагалось установить в ходе ведения очистных работ.

Отметим, что наличие тектонически разгруженных зон может сказаться на устойчивости кровли при ведении очистных работ, что имело место на выемочном участке 24-63 и отмечено в актах проверки состояния горно-геологических условий в лаве 24-63.

Оценочно обследован отработанный участок лавы 24-63 длиной 2150 м и аналогичный участок той же длины на 24-62. К некоторым позитивным результатам газовой обстановки на участке 24-63 можно отнести то, что максимально достигнутая нагрузка на очистной забой в исследованной зоне 24-63 составила 19 600 т/сут, а в очистном забое 24-62 — 16 800 т/сут.

Методология оценки эффективности комплекса пластовой дегазации предусматривает два основных этапа.

Первый, предварительный, в основном включает оценку потенциального снижения метановыделения из разрабатываемого угольного пласта в очистной забой на дегазированных участках, достигаемого путем непосредственного съема метана через пластовые скважины (ГРП, ПодзГРП, ППД), повышения остаточной газоносности пласта и, тем самым, снижения газовыделения из него (режим гидратация), а также учет более интенсивного выноса метана в подготовительную выработку из дегинтегрированного гидрораздействием массива (частичное газоистощение угольного пласта).

Второй, основной, этап оценки эффективности включает в себя определение снижения газообильности очистной выработки, уменьшение простоев лавы по газовому фактору и, в конечном итоге, определение степени повышения нагрузок на очистной забой.

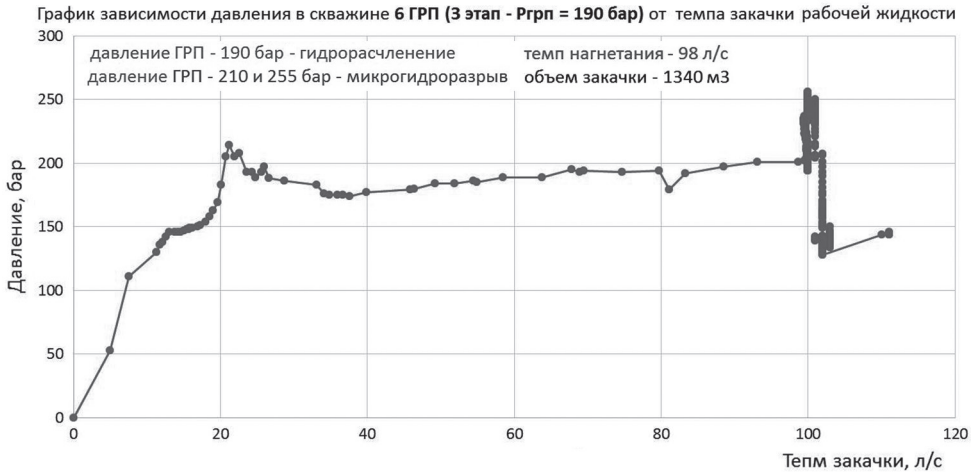


Рис. 1. Индикаторная кривая для выявления режима гидробработки на скважине 6 ГРП  
 Fig. 1. Indicator curve for detecting the hydrotreatment mode at the well 6 hydraulic fracturing

Для более представительной фактической оценки эффективности проведения ГРП с поверхности был проведен анализ различных зон участка 24-63, где проводилось или не проводилось ГРП с поверхности (см. рис. 2). Отметим для корректности, что такое деление на зоны ответственности технологии ГРП достаточно условно ввиду анизотропии фильтрационных свойств пласта и неоднородности углегазового массива.

Анализируя приведенные в табл. 2 показатели эффективности пластовой дегазации по выделенным зонам на выемочном участке 24-63, можно выявить некоторые положительные моменты применения ГРП с поверхности, которые на настоящем этапе исследований

пока не носят представительного характера.

В зоне ответственности скважин 1–3 ГРП (зона 2) производительность угледобычи выше, чем в сравниваемой (без применения ГРП) зоне 1 (4507 т/сут против 3721 т/сут), а относительная газообильность меньше (2,61 м<sup>3</sup>/т против 3,22 м<sup>3</sup>/т).

В зоне ответственности скважины 5 ГРП (зона 4) производительность угледобычи выше, чем в сравниваемой (без ГРП) зоне 3 (8758 т/сут против 5546 т/сут), а относительная газообильность меньше (2,1 м<sup>3</sup>/т против 2,57 м<sup>3</sup>/т).

В зоне ответственности скважины 6 ГРП (зона 6) производительность угледобычи выше, чем в сравниваемой (без ГРП)

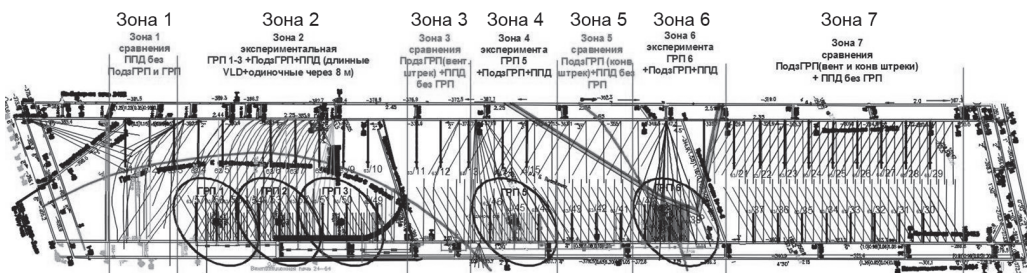


Рис. 2. Сравнительный анализ зон пластовой дегазации с ГРП и без него на выемочном участке 24-63  
 Fig. 2. Comparative analysis of reservoir degassing zones with and without hydraulic fracturing at the excavation site 24-63

Таблица 2  
**Показатели эффективности пластовой дегазации по зонам на выемочном участке 24-63**  
**Performance indicators of reservoir degassing by zones at the excavation site 24-63**

Показатели	Единицы измерения	Зона 1 (зона сравнения)	Зона 2 (зона ГРП 1—3) сравнения)	Зона 3 (зона сравнения)	Зона 4 (зона ГРП 5) сравнения)	Зона 5 (зона сравнения)	Зона 6 (зона ГРП 6) сравнения)	Зона 7 (зона сравнения)	Средн. по всем зонам сравнения	Средн. по всем зонам ГРП
Даты отработки		28.10 – 12.12.2020	19.12 – 16.06.2021	16.06 – 30.07.2021	30.07 – 08.09.2021	08.09 – 11.10.2021	11.10 – 25.11.2021	25.11.21- по наст вр		
Добыча суточная	т/сут	3721	4507	5546	8758	5938	7154	7670	5718,6	6806,3
Абсолютная газообильность	м <sup>3</sup> /мин	7,91	8,21	8,31	10,04	8,4	8	8,57	8,3	8,6
Среднее время остановок на проветривание за 1 цикл добычи	мин/цикл	25,78	26,12	21,48	17,41	7,52	13,5	35,3	22,52	19
Остановки на проветривание за сутки	мин/сут	53,41	84,39	74,89	107,38	46,25	57,7	176,4	87,6	83
Относительная газообильность	м <sup>3</sup> /т	3,22	2,61	2,57	2,1	2,43	2	1,56	2,4	2,1

зоне 5 (7154 т/сут против 5938 т/сут), а относительная газообильность меньше (2,0 м<sup>3</sup>/т против 2,43 м<sup>3</sup>/т).

На настоящий момент (февраль 2022 г.) средняя нагрузка в лаве 24-63 по всем зонам ГРП на 16% выше и составила 6806 т/сут, в то время как средняя нагрузка по всем зонам сравнения — 5718 т/сут. Остановки на проветривание за один цикл добычи по всем зонам ГРП на 15% меньше и составили 19 мин/цикл, против величины 22,52 мин/цикл по всем зонам сравнения.

Относительная газообильность по всем зонам ГРП на 12% меньше и составила 2,1 м<sup>3</sup>/т (по всем зонам сравнения — 2,4 м<sup>3</sup>/т).

Окончательные выводы делать пока преждевременно, так как параметры комплексной пластовой дегазации по зонам менялись. Также рознилось по выделенным зонам время функционирования скважин ГРП, ПодзГРП и ППД.

В настоящее время необходимо отметить следующее. Общеизвестно, что эффективность пластовой дегазации существенно зависит от времени функционирования дегазационных скважин. Следовательно, надо максимально использовать потенциальные возможности пластовой дегазации скважинами ГРП, так как они могут начинать функционировать за несколько лет до начала ведения основных горных работ. Этого преимущества нет ни у одной другой технологии пластовой дегазации, так как срок дегазации там зависит от проведения горных выработок, из которых бурятся пластовые дегазационные скважины. Это очень ограниченное время, так как опережение подготовительными работами очистных является наиболее узким местом подземной угледобычи. Проблематично выдерживать требования руководящих документов по дегазации об обязательности иметь срок функционирования скважин подземной

пластовой дегазации соответственно для нисходящих и восстающих скважин 6–12 месяцев. Чаще всего этот срок на отдельных участках отработки значительно меньше по объективным шахтным условиям.

На поле шахты им. С.М. Кирова технология ГРП с поверхности на участке 24-63 не реализовывала свои временные преимущества, так как применялась в оперативных целях в режиме не заблаговременной дегазации (срок заблаговременности более 3 лет), а предварительной дегазации (срок не более 1,5 лет), причем без освоения скважин ГРП.

Показанный выше эффект от применения технологии гидрорасчленения угольного пласта Болдыревский с использованием скважин, пробуренных с поверхности, на участке 24-63 был достигнут, с нашей точки зрения, не столько за счет извлечения метана из угля до начала ведения очистных работ, сколько за счет менее очевидных, но существенных в имеющихся горнотехнических условиях известных факторов [1, 3, 5, 10], сопутствующих гидродинамическому воздействию на углегазоносный массив, таких как:

- снижение эффективной газоносности угольного пласта ( $x-x_0$ ) за счет повышения остаточной газоносности угля ( $x_0$ ) вследствие блокирования метана водой в мельчайших порах и трещинах угольного пласта (реализация режима гидратации), куда последняя проникает за счет сил самодвижения, в частности, капиллярных сил;
- снижение фазовой проницаемости угля водой, что уменьшает интенсивность газовыделения из угольного пласта в очистную выработку;
- более интенсивный на стадии подготовки выемочного участка вынос метана из более проницаемого, нарушенного в зонах ГРП угольного пласта, в подготовительную выработку.

### **Рекомендации на проведение дальнейших работ по ГРП.**

- Целесообразно предусмотреть применение и методически грамотное исследование эффективности технологии ГРП через скважины с поверхности на перспективных участках, где срок заблаговременности дегазационных работ составит не менее 3 лет.

- Реализовать испытания технологии ГРП в усовершенствованном виде в соответствии с разработанным и утвержденным «Дополнением к технологической части проекта...», устраняющим имевшие место недостатки примененной на шахте им. С.М. Кирова упрощенной (усеченной в условиях предварительной дегазации) технологии ГРП.

Дополнение предусматривает и обосновывает следующие технологические аспекты:

- Необходимость качественной и полноценной опрессовки скважин ГРП в соответствии с утвержденной Программой и методикой работ.

- Оптимизация параметра длины зумпфа для снижения вероятности гидроразрыва на нижележащий пласт при проведении ГРП и, в некоторых условиях, пересыпание зумпфа скважин ГРП для изоляции нижележащего пласта Промежуточный на период гидрообработки разрабатываемого пласта Болдыревский.

- Целесообразность перфорации вскрываемого для ГРП угольного пласта Болдыревский путем кавернообразования в прискважинной зоне пласта.

- Проведение ГРП в две стадии для повышения равномерности обработки пласта вследствие реализации эффекта набухания угля.

- Закрепление трещин ГРП песком или другим проппантом.

- Целесообразность освоения скважин ГРП путем удаления рабочей жидкости на поверхность.

Приведенные рекомендации базируются на многолетнем опыте работ по заблаговременной дегазации угольных пластов через скважины, пробуренные с поверхности на шахтах Карагандинского и Донецкого угольных бассейнов. В частности, закрепление трещин проппантом (песком) рекомендуется для угольных пластов, залегающих на глубинах свыше 550–600 м, что уже актуально для ряда шахт Кузбасса. Кавернообразование призабойной зоны показало свою высокую эффективность на шахтах им. Ленина и «Казахстанская» в Карагандинском бассейне [10, 22].

Проведение закачек воды в пласты в две стадии целесообразно в части использования эффекта набухания угля для повышения равномерности гидрообработки [17]. Идея способа заключается в том, что после первого этапа гидрообработки скважина закрывается на определенный период времени от 7 до 15 дней (временной параметр исследуется в настоящее время на скважинах ГРП на поле шахты им. С.М. Кирова). За этот период происходит набухание угля и снижается проницаемость уже раскрытой на первом этапе системы трещин. На втором этапе обработки вода раскрывает в пласте дополнительные системы трещин, повышая тем самым общую проницаемость дегазируемого пласта и увеличивая равномерность его обработки.

### **Выводы по выполненной и представленной в статье работе**

1. Впервые в Кузнецком угольном бассейне апробирована в шахтных условиях комплексная пластовая дегазация, включающая в себя гидрорасчленение разрабатываемого угольного пласта через скважины, пробуренные с поверхности.

2. Представлены фактические параметры ГРП, реализованному через сква-



жины с поверхности в условиях предварительной дегазации.

3. Установлен режим внедрения рабочей жидкости в процессе реализованного гидродинамического воздействия — гидрорасчленение угольного пласта с циклическими микроразрывами.

4. Указаны механизмы достижения эффекта от гидродинамического воздействия на пласт, в частности, снижение эффективной газоносности разрабатываемого угольного пласта вследствие извлечения метана и блокирования оставшейся части газа в мельчайших порах и трещинах пласта, приводящего к повышению остаточной газоносности угля.

5. Оценена предварительная эффективность гидродинамического воздействия на пласт в части повышения нагрузок на очистной забой, снижения простоев добычного оборудования по

газовому фактору и увеличения газообильности очистной выработки, что позитивно влияет на интенсивность угледобычи и обеспечение метанобезопасности ведения горных работ.

6. Разработаны рекомендации по совершенствованию технологии гидрорасчленения угольных пластов, оформленные в виде дополнения к технологической части проекта на пластовую дегазацию.

7. Рекомендуется провести шахтные испытания технологии гидрорасчленения разрабатываемого угольного пласта в условиях заблаговременной дегазации с резервом времени на пластовую дегазацию не менее 3–5 лет для полной реализации базовых преимуществ дегазационных работ, проводимых заблаговременно через скважины с поверхности.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ютяев Е. П. Обоснование технологии интенсивной подземной разработки высокогазоносных угольных пластов. Автореферат дисс. на соиск. уч. степ. д.т.н. — Кемерово: КузГТУ, 2019. — 45 с.

2. Забурдяев В. С., Захаров В. Н., Артемьев В. Б., Ясюченя С. В. Шахтный метан: проблемы извлечения и утилизации. — М.: «Горное дело» ООО «Киммерийский центр», 2014. — 256 с.

3. 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.

4. Сластунов С. В., Каркашадзе Г. Г., Коликов К. С., Ютяев Е. П. Способ подготовки газоносного угольного пласта к отработке. Патент РФ № 2 659 298. Заявка: 2017133145 от 22.09.2017. Бюлл. № 19 (73), 29.06.2018.

5. Понизов А. В. Разработка комплексной технологии дегазационной подготовки угольного пласта на основе его гидродинамической обработки. Автореферат дисс. на соиск. уч. степ. к.т.н. — М.: НИТУ «МИСиС», 2021. — 24 с.

6. Naik S., Yang S., Bedrikovetsky P., Woolley M. Analytical modelling of the water block phenomenon in hydraulically fractured wells // Journal of Natural Gas Science and Engineering. 2019, vol. 67, pp. 56–70. DOI: 10.1016/j.jngse.2019.04.018.

7. Burlutskii E. An assessment of the effectiveness of the analytical methods to fracture propagation control using accurate mathematical modelling // Journal of Natural Gas Science and Engineering. 2019, vol. 62, pp. 294–301. DOI: 10.1016/j.jngse.2018.12.017

8. Li Zhang, Hui Zhang, Hao Guo A case study of gas drainage to low permeability coal seam // International Journal of Mining Science and Technology. 2017, vol. 27, no. 4, pp. 687–692. DOI: 10.1016/j.ijmst.2017.05.014.

9. *Sampath K. H. S. M., Perera M. S. A., Ranjith P. G.* Theoretical overview of hydraulic fracturing break-down pressure // *Journal of Natural Gas Science and Engineering*. 2018, vol. 58, pp. 251 – 265. DOI: 10.1016/j.jngse.2018.08.012.

10. *Ножкин Н. В.* Заблаговременная дегазация угольных месторождений. – М.: Недра, 1979. – 383 с.

11. *Чернов О. И., Черкасов В. С., Горбачев А. Г.* Движение жидкости в угольных пластах. – Новосибирск: Наука, 1981. – 214 с.

12. *Плаксин М. С., Родин Р. И., Альков В. И.* Газокинетическая реакция углеметанового пласта при создании в нем трещин посредством нагнетания флюидов / *Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов: сборник научных статей*. – Новокузнецк: СибГИУ, 2017. – С. 63–67.

13. *Guo J., Lu Q., Chen H., Wang Z., Chen L., Tang X.* Quantitative phase field modeling of hydraulic fracture branching in heterogeneous formation under anisotropic in-situ stress // *Journal of Natural Gas Science and Engineering*. 2018, vol. 56, pp. 455 – 471. DOI: 10.1016/j.jngse.2018.06.009.

14. *Liu Y., Tang D., Xu H., Li S., Tao S.* The impact of coal macrolithotype on hydraulic fracture initiation and propagation in coal seams // *Journal of Natural Gas Science and Engineering*. 2018, vol. 56, pp. 299 – 314. DOI: 10.1016/j.jngse.2018.06.013.

15. *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. DOI: 10.18796/0041-5790-2017-11-24-27.

16. *Павленко М. В.* Формирование волновых возмущений через скважины в угольном массиве в виде вибрационных колебаний для создания в них газопроводящих трещин // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. – 2016. – № 5. – С. 36–42.

17. *Каркашадзе Г. Г., Хаутиев А. М.-Б.* Механизм повышения газопроницаемости угольного пласта в процессе циклической сорбционной усадки и разбухания угля // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. – 2015. – № 4. – С. 249 – 255.

18. *Fan C., Li S., Luo M., Mingkun W. Du, Yang Z.* Coal and gas outburst dynamic system // *International Journal of Mining Science and Technology*. 2017, vol. 27, no. 1, pp. 49 – 55. DOI: 10.1016/j.ijmst.2016.11.003.

19. *Агеев П. Г., Агеев Н. П., Агеев Д. П., Десяткин А. С., Пашенко А. Ф.* Плазменно-импульсное воздействие – инновационный подход к добыче традиционных и нетрадиционный подход к добыче традиционных и нетрадиционных углеводородов и заблаговременной дегазации угольных пластов // *Бурение и нефть*. – 2016. – № 7-8. – С. 34 – 40.

20. *Gent Jiabo, Xu Jiang, Nie Wen, Peng Shoujian, Zhang Chaolin, Luo Xiaohang* Regression analysis of major parameters affecting the intensity of coal and gas outbursts in laboratory // *International Journal of Mining Science and Technology*. 2017, vol. 27, no. 2, pp. 327 – 332. DOI: 10.1016/j.ijmst.2017.01.004.

21. *Коршунов Г. И., Шипулин А. В., Серегин А. С.* Увеличение газовой проницаемости угля путем импульсно-волнового воздействия через скважины // *Газовая промышленность*. – 2012. – № 672. – С. 46 – 47.

22. *Стефлюк Ю. М.* Обоснование выбора технологии пластовой дегазации выбросоопасных угольных пластов для обеспечения их безопасной и интенсивной отработки. Автореферат дисс. на соиск. уч. степ. к.т.н. – М.: МГГУ, 2012. – 24 с. **ГИАБ**

## REFERENCES

1. *Yutyaev E. P.* *Obosnovanie tekhnologii intensivnoy podzemnoy razrabotki vysokogazonosnykh ugol'nykh plastov* [Substantiation of the technology of intensive underground mining of high-gas-bearing coal seams], Doctor's thesis, Kemerovo, KuzGTU, 2019, 45 p.

2. Ziburdaev V. S., Zakharov V. N., Artem'ev V. B., Yasyuchenya S. V. *Shakhtnyy metan: problemy izvlecheniya i utilizatsii* [Mine methane: problems of extraction and utilization], Moscow, «Gornoe delo» OOO «Kimmeriyskiy tsentr», 2014, 256 p.

3. Slastunov S. V., Mazanik E. V., Sadov A. P., Khautiev A. M.-B. Testing of integrated degassing treatment technology based on hydraulic splitting of coal seam using surface holes. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020, no. 2, pp. 58–70. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-2-0-58-70.

4. Slastunov S. V., Karkashadze G. G., Kolikov K. S., Yutyayev E. P. *Patent RU 2659298*. 29.06.2018. [In Russ].

5. Ponizov A. V. *Razrabotka kompleksnoy tekhnologii degazatsionnoy podgotovki ugol'nogo plasta na osnove ego gidrodinamicheskoy obrabotki* [Development of a complex technology of degassing preparation of a coal seam based on its hydrodynamic treatment], Candidate's thesis, Moscow, NITU «MISiS», 2021, 24 p.

6. Naik S., Yang S., Bedrikovetsky P., Woolley M. Analytical modelling of the water block phenomenon in hydraulically fractured wells. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*. 2019, vol. 67, pp. 56–70. DOI: 10.1016/j.jngse.2019.04.018.

7. Burlutskii E. An assessment of the effectiveness of the analytical methods to fracture propagation control using accurate mathematical modelling. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*. 2019, vol. 62, pp. 294–301. DOI: 10.1016/j.jngse.2018.12.017

8. Li Zhang, Hui Zhang, Hao Guo A case study of gas drainage to low permeability coal seam. *International Journal of Mining Science and Technology*. 2017, vol. 27, no. 4, pp. 687–692. DOI: 10.1016/j.ijmst.2017.05.014.

9. Sampath K. H. S. M., Perera M. S. A., Ranjith P. G. Theoretical overview of hydraulic fracturing break-down pressure. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*. 2018, vol. 58, pp. 251–265. DOI: 10.1016/j.jngse.2018.08.012.

10. Nozhkin N. V. *Zablagovremennaya degazatsiya ugol'nykh mestorozhdeniy* [Advance degassing of coal deposits], Moscow, Nedra, 1979, 383 p.

11. Chernov O. I., Cherkasov V. S., Gorbachev A. G. *Dvizhenie zhidkosti v ugol'nykh plastyakh* [Fluid motion in coal seams], Novosibirsk, Nauka, 1981, 214 p.

12. Plaksin M. S., Rodin R. I., Alkov V. I. Gas-kinetic reaction of a carbon-methane formation when cracks are created in it by injection of fluids. *Naukoemkie tekhnologii razrabotki i ispol'zovaniya mineral'nykh resursov: sbornik nauchnykh statey* [High-tech technologies for the development and use of mineral resources: collection of scientific articles], Novokuznetsk, SibGIU, 2017, pp. 63–67.

13. Guo J., Lu Q., Chen H., Wang Z., Chen L., Tang X. Quantitative phase field modeling of hydraulic fracture branching in heterogeneous formation under anisotropic in-situ stress. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*. 2018, vol. 56, pp. 455–471. DOI: 10.1016/j.jngse.2018.06.009.

14. Liu Y., Tang D., Xu H., Li S., Tao S. The impact of coal macrolithotype on hydraulic fracture initiation and propagation in coal seams. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*. 2018, vol. 56, pp. 299–314. DOI: 10.1016/j.jngse.2018.06.013.

15. Yutyayev E. P., Sadov A. P., Meshkov A. A., Khautiev A. M., Tailakov O. V., Utkayev E. A. Evaluation of filtration properties of coal in hydrodynamic tests of degassing reservoir wells. *Ugol'*. 2017, no. 11, pp. 24–29. [In Russ]. DOI: 10.18796/0041-5790-2017-11-24-27.

16. Pavlenko M. V. Formation of wave disturbances through wells in the coal massif in the form of vibration vibrations to create gas-conducting cracks in them. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2016, no. 5, pp. 36–42.

17. Karkashadze G. G., Khautiev A. M.-B. Mechanism of increasing the gas permeability of a coal seam in the process of cyclic sorption shrinkage and swelling of coal. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2015, no. 4, pp. 249–255. [In Russ].

18. Fan C., Li S., Luo M., Mingkun W. Du, Yang Z. Coal and gas outburst dynamic system. *International Journal of Mining Science and Technology*. 2017, vol. 27, no. 1, pp. 49–55. DOI: 10.1016/j.ijmst.2016.11.003.

19. Ageev P. G., Ageev N. P., Ageev D. P., Desyatkin A. S., Pashchenko A. F. Plasma-pulse impact – an innovative approach to the extraction of traditional and unconventional approach to the extraction of traditional and unconventional hydrocarbons and early degassing of coal seams. *Burenie i neft'*. 2016, no. 7-8, pp. 34–40. [In Russ].

20. Gent Jiabo, Xu Jiang, Nie Wen, Peng Shoujian, Zhang Chaolin, Luo Xiaohang Regression analysis of major parameters affecting the intensity of coal and gas outbursts in laboratory. *International Journal of Mining Science and Technology*. 2017, vol. 27, no. 2, pp. 327–332. DOI: 10.1016/j.ijmst.2017.01.004.

21. Korshunov G. I., Shipulin A. V., Seregin A. S. Increasing the gas permeability of coal by pulse-wave action through wells. *Gas Industry Journal*. 2012, no. 672, pp. 46–47. [In Russ].

22. Steflyuk Yu. M. *Obosnovanie vybora tekhnologii plastovoy degazatsii vybrosoopasnykh ugol'nykh plastov dlya obespecheniya ikh bezopasnoy i intensivnoy otrabotki* [Justification of the choice of technology of reservoir degassing of explosive coal seams to ensure their safe and intensive mining], Candidate's thesis, Moscow, MGGU, 2012, 24 p.

### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Сластунов Сергей Викторович – д-р техн. наук, профессор,  
ГИ НИТУ «МИСиС», e-mail: slastunovsv@mail.ru,  
ORSID ID: 0000-0003-0744-6892,

Садов Анатолий Петрович<sup>1</sup> – канд. техн. наук,  
директор, e-mail: sadovap@suek.ru,

Хаутиев Адам Магомет-Баширович<sup>1</sup> – канд. техн. наук,  
инженер-технолог, e-mail: khautievam@suek.ru,

Комиссаров Игорь Анатольевич<sup>1</sup> – заместитель  
главного инженера, e-mail: komissarovia@suek.ru,

<sup>1</sup> АО «СУЭК-Кузбасс»,

Управление дегазации и утилизации метана.

**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,

ORSID ID: 0000-0003-0744-6892,

A.P. Sadov<sup>1</sup>, Cand. Sci. (Eng.), Director,  
e-mail: sadovap@suek.ru,

A.M.-B. Khautiev<sup>1</sup>, Cand. Sci. (Eng.),  
Engineer-Technologist, e-mail: khautievam@suek.ru,

I.A. Komissarov<sup>1</sup>, Deputy Chief Engineer,  
e-mail: komissarovia@suek.ru,

<sup>1</sup> Methane Degassing and Utilization Department,  
SUEK-Kuzbass JSC, Leninsk-Kuznetsky, Russia.

**Corresponding author:** S.V. Slastunov, e-mail: slastunovsv@mail.ru.

Получена редакцией 01.07.2022; получена после рецензии 23.09.2022; принята к печати 10.10.2022.

Received by the editors 01.07.2022; received after the review 23.09.2022; accepted for printing 10.10.2022.